

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION  
EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la Propriété  
Intellectuelle  
Bureau international



(43) Date de la publication internationale  
27 octobre 2005 (27.10.2005)

PCT

(10) Numéro de publication internationale  
**WO 2005/100952 A1**

(51) Classification internationale des brevets<sup>7</sup> : G01N 9/24,  
G21C 17/06

(21) Numéro de la demande internationale :  
PCT/FR2005/000838

(22) Date de dépôt international : 6 avril 2005 (06.04.2005)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :  
0450686 6 avril 2004 (06.04.2004) FR

(71) Déposants (*pour tous les États désignés sauf US*) : COM-  
MISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE [FR/FR];  
31-33, rue de la Fédération, F-75752 Paris 15ème (FR).  
COMPAGNIE GENERALE DES MATIERES NU-  
CLEAIRES [FR/FR]; 2, rue Paul Dautier, F-78140 Velizy  
Villacoublay (FR).

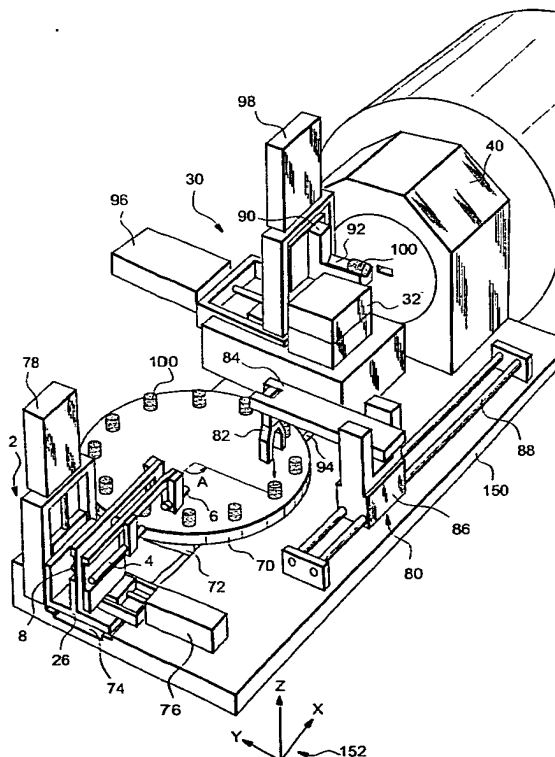
(72) Inventeurs; et

(75) Inventeurs/Déposants (*pour US seulement*) : LYOUSSI,  
Abdallah [FR/FR]; Résidence La Petite Négresse, Bât.  
B2, F-04100 Manosque (FR). PAYAN, Emmanuel  
[FR/FR]; Résidence La Petite Négresse, Bât. B2, Montée  
des Cigales, F-04100 Manosque (FR).

[Suite sur la page suivante]

(54) Title: METHOD AND SYSTEM FOR DETERMINING THE MASS DENSITY AND DIMENSIONAL CHARACTERIS-  
TICS OF AN OBJECT, AND USE THEREOF FOR CONTROLLING NUCLEAR FUEL PELLETS DURING THE PRODUC-  
TION OF THE SAME

(54) Titre : PROCEDE ET SYSTEME DE DETERMINATION DE LA MASSE VOLUMIQUE ET DES CARACTERISTIQUES  
DIMENSIONNELLES D'UN OBJET, ET APPLICATION AU CONTROLE DES PASTILLES DE COMBUSTIBLE NUCLEAIRE  
EN COURS DE FABRICATION



(57) Abstract: The invention relates to a system for the automatic determination of the mass density of an object (100), said system comprising a unit (2) for determining a significant dimension (x) of the object (100), a unit (30) for determining the intensity (I) of a photonic beam attenuated by the passage of the object (100), an acquisition, processing and analysis unit (200), means (70, 72, 80, 82, 84, 86, 88) for transporting the object (100), first means (74, 76, 78) for adjusting the position of the object (100), and second means (90, 92, 94, 96, 98) for adjusting the position of the object (100). The invention also relates to a method for implementing the inventive system, said method comprising steps for calibrating components of units 2 and 30, and steps for determining the significant dimension of the objects (100). Said steps are performed on each object (100) from the batch of objects.

(57) Abrégé : Le système, pour la détermination automatique de la masse volumique d'un objet (100) comprend : une unité (2) de détermination d'une dimension significative (x) dudit objet (100), une unité (30) de détermination de l'intensité (I) d'un faisceau photonique, atténuée par la traversée dudit objet (100), une unité d'acquisition, de traitement et d'analyse (200), des moyens de transport

[Suite sur la page suivante]

WO 2005/100952 A1



(74) Mandataire : DJORDJALIAN, Valérie; Brevatome, 3, rue du Docteur Lancereaux, F-75008 PARIS (FR).

(81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible) : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM,

ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), européen (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

**Publiée :**

- avec rapport de recherche internationale
- avant l'expiration du délai prévu pour la modification des revendications, sera republiée si des modifications sont reçues

En ce qui concerne les codes à deux lettres et autres abréviations, se référer aux "Notes explicatives relatives aux codes et abréviations" figurant au début de chaque numéro ordinaire de la Gazette du PCT.

1 LAP5 Rec'd PCT/PTO 28 SEP 2006

PROCEDE ET SYSTEME DE DETERMINATION DE LA MASSE  
VOLUMIQUE ET DES CARACTERISTIQUES DIMENSIONNELLES D'UN  
OBJET, ET APPLICATION AU CONTROLE DES PASTILLES DE  
COMBUSTIBLE NUCLEAIRE EN COURS DE FABRICATION

5

## DESCRIPTION

## DOMAINE TECHNIQUE

La présente invention se rapporte au  
domaine des techniques d'analyse non destructives.

10 L'invention se rapporte plus précisément à  
un procédé et un système de détermination automatique  
de la masse volumique d'objets par atténuation  
photonique en ligne droite et de leurs caractéristiques  
dimensionnelles.

15 Elle trouve une application dans le  
contrôle et le suivi du bon fonctionnement d'unités de  
fabrication et d'usinage d'objets, comme par exemple  
des pastilles de combustible nucléaire, tel que UOX  
et/ou MOX, et permet en particulier de suivre la  
20 reproductibilité de fabrication desdits objets, en ce  
qui concerne leur masse volumique.

Elle peut aussi être utilisée pour  
déterminer des gradients axiaux et radiaux de masse  
volumique faisant ainsi office de tomodesitomètre très  
25 précis.

## ETAT DE LA TECHNIQUE ANTERIEURE

Des méthodes nucléaires non destructives  
actives de détermination de la masse volumique ont déjà  
été élaborées, notamment pour déterminer la masse  
30 volumique d'échantillons géologiques. Dans le document

référéncé : Been, K., « Nondestructive Soil Bulk Density Measurement by X-ray Attenuation », *Geotechnical Testing Journal, GTJODJ*, Vol. 4, No. 4, Dec. 1981, pp 169-176, l'auteur propose une mesure de densité d'échantillons par atténuation photonique en ligne droite au moyen de tubes de rayons X, sans chercher à déterminer de façon précise la dimension des échantillons en question. Dans les documents référencés : Tan, S.-A. and Fwa, T.-F., « Nondestrcutive Density Measurements of Cylindrical Specimens by Gamma-Ray Attenuation », *Journal of Testing Evaluation, JTEVA*, Vol. 19, No. 2, March 1991, pp. 155-160, et : Tan, S.-A. and Fwa, T.-F., « Density Measurements of Cylindrical Specimens within a Mold by Gamma-Rays », *Journal of Testing Evaluation, JTEVA*, Vol. 21, No. 4, July 1993, pp. 296-301, les auteurs proposent une mesure de densité d'échantillons géologiques par atténuation photonique en ligne droite, au moyen de rayonnement gamma. Ils ont identifié et montré l'impact des paramètres géométriques des échantillons sur la précision de la mesure de densité, sans pour autant proposer de solution pour déterminer avec précision lesdits paramètres géométriques.

On indique que, bien que les documents cités ci-dessus s'intéressent à la densité des échantillons, il s'agit en fait de la détermination de la masse volumique desdits objets, le terme « densité » étant utilisé à la place de « masse volumique » par facilité de langage.

## EXPOSÉ DE L'INVENTION

La présente invention a pour but la détermination de la masse volumique d'objets appartenant à un lot donné d'objets, par détermination  
5 de la variation de la masse volumique de chacun desdits objets par rapport à la masse volumique, connue, de l'un au moins desdits objets pris comme référence ou étalon.

Cette détermination de la masse volumique  
10 desdits objets est effectuée au moyen d'une technique nucléaire non destructive, mettant en œuvre un rayonnement de photons gamma, et d'une unité de détermination par spectrométrie gamma, de l'intensité du faisceau de photons gamma..

15 La détermination de la masse volumique desdits objets passe par la détermination préalable d'au moins une dimension significative de ceux-ci.

Contrairement aux méthodes développées dans l'art antérieur cité ci-dessus, l'invention tient  
20 compte de l'influence des paramètres géométriques, en mesurant de façon très précise au moins une dimension significative des objets dont on cherche à évaluer la masse volumique, et en utilisant cette dimension significative mesurée pour la détermination de la masse  
25 volumique des objets contrôlés. Ladite dimension significative peut être une largeur ou un diamètre, et correspond à la dimension effective traversée par le faisceau de photons gamma.

Le procédé de détermination de la dimension  
30 significative de l'objet fait partie du procédé de détermination de la masse volumique dudit objet. Il met

en œuvre une unité de mesure de dimension par rayonnement infrarouge.

On rappelle brièvement que le principe physique de la détermination de la masse volumique d'un objet par atténuation photonique consiste à irradier l'objet par un faisceau interrogateur de photons monochromatiques d'énergie E. L'intensité du faisceau photonique est plus ou moins atténuée en fonction de la masse volumique de l'objet traversé, de l'épaisseur de matière traversée, et de la composition chimique élémentaire de l'objet traversé. Cette intensité est fournie par l'équation :

$$I = I_0 \exp(-\mu_m \rho x)$$

où :

- I est l'intensité atténuée du faisceau photonique, en photons<sup>-1</sup>,
- I<sub>0</sub> est l'intensité non atténuée du faisceau photonique à l'énergie E, en photons<sup>-1</sup>,
- $\mu_m$  est le coefficient massique d'atténuation du photon d'énergie E dans l'objet, en cm<sup>2</sup>.g<sup>-1</sup>,
- $\rho$  est la masse volumique de l'objet à contrôler, en g.cm<sup>-3</sup>,
- x est l'épaisseur de matière traversée par le faisceau photonique, ou dimension significative de l'objet, en cm.

L'expression de la masse volumique de l'objet s'en déduit directement par :

$$\rho = \frac{\text{Ln} \left| \frac{I_0}{I} \right|}{\mu_m x}$$

Ainsi la connaissance des intensités transmises avec et sans interposition de l'objet à contrôler,  $I$  et  $I_0$  respectivement, du coefficient massique d'atténuation  $\mu_m$  et de la dimension  
 5 significative  $x$  de l'objet effectivement traversée permet de remonter à la masse volumique  $\rho$  dudit objet.

La présente invention se propose de déterminer l'épaisseur de matière  $x$  de l'objet traversée par le faisceau photonique et l'intensité  
 10 transmise  $I$  du faisceau photonique au niveau d'énergie  $E$ , pour calculer ensuite la variation relative de la masse volumique  $\rho$  de cet objet par rapport à la masse volumique d'au moins un objet étalon pris comme référence. Une caractéristique de l'invention réside  
 15 dans le fait que ces déterminations d'épaisseur de matière (dimension significative de l'objet) et d'intensité du faisceau photonique sont faites avec une précision micrométrique.

La variation relative de la masse volumique  
 20  $\rho$  de l'objet à contrôler est obtenue selon l'expression suivante :

$$\frac{\Delta\rho}{\rho} = \frac{\rho - \rho_e}{\rho} = \frac{x_e}{x} \left[ 1 - \frac{L_n \frac{I}{I_e}}{\mu_m \rho_e x_e} \right],$$

où  $\rho_e$  est la masse volumique connue de l'objet pris comme étalon en masse volumique, et où  $x_e$  est la  
 25 dimension significative traversée de l'objet étalon en masse volumique.

Le coefficient massique d'atténuation  $\mu_m$ , qui dépend de la composition chimique de l'objet, est

déterminé à partir d'un ou plusieurs objets étalons certifiés et parfaitement connus, et ayant la même composition chimique que celle de l'objet à contrôler. Il est déterminé lors d'une étape, qui sera décrite par la suite, d'étalonnage de l'unité de détermination de l'intensité du faisceau photonique, atténuée par la traversée de l'objet étalon.

Lorsque l'objet à contrôler est de section circulaire, la dimension significative traversée correspond à son diamètre. Lorsque l'objet à contrôler est de forme parallélépipédique, la dimension significative traversée correspond à une largeur de l'objet.

Par la suite on convient d'utiliser les notations suivantes lorsqu'il est nécessaire de distinguer un objet  $i$  du lot d'objets 100 et/ou un objet étalon  $e$  du lot d'objets 100 :

- l'indice  $e_{mas}$  est représentatif des grandeurs relatives à un objet étalon en masse volumique, comme par exemple sa dimension significative  $X_{e_{mas}}$ ,

- l'indice  $e_{dim}$  est représentatif des grandeurs relatives à un objet étalon en dimension, comme par exemple sa dimension significative  $X_{e_{dim}}$ .

Selon un premier aspect de l'invention, le système pour la détermination automatique de la masse volumique d'un objet appartenant à un lot d'objets comprend :

- une unité de détermination d'une dimension significative dudit objet,



- une unité de détermination de l'intensité d'un faisceau photonique, atténuée par la traversée dudit objet,

5 - une unité d'acquisition, de traitement et d'analyse,

- des moyens de transport de l'objet vers l'unité de détermination de sa dimension significative et vers l'unité de détermination de l'intensité du faisceau photonique atténuée,

10 - des premiers moyens d'ajustement de la position de l'objet relativement à l'unité de détermination de la dimension significative,

15 - des deuxièmes moyens d'ajustement de la position de l'objet relativement à l'unité de détermination de l'intensité photonique atténuée,

lesdits premiers et deuxièmes moyens d'ajustement étant capables de déplacer l'objet avec une précision de l'ordre du micron par rapport à une plaque de support sur laquelle sont installés les éléments constitutifs du système,

20 et la position de l'objet relativement à l'unité de détermination de l'intensité atténuée étant ajustée en fonction de la dimension significative dudit objet.

25 De préférence, l'unité de détermination d'une dimension significative de l'objet est une unité de mesure par rayonnement infrarouge.

De préférence, l'unité de détermination de l'intensité d'un faisceau photonique atténuée par la traversée de l'objet est une unité de détermination par spectrométrie gamma, qui comprend :

30

- un ensemble formé d'une source et d'un collimateur,

- un ensemble formé d'un détecteur et d'un collimateur,

5                   - une chaîne d'acquisition et de comptage des photons gamma.

L'invention met en œuvre des moyens de transport, ainsi que des moyens d'ajustement de position de chaque objet contrôlé par rapport à l'unité de détermination de la dimension significative de l'objet et/ou par rapport à l'unité de détermination de l'intensité atténuée, lesdits moyens d'ajustement de position étant capables de fournir une précision de l'ordre du micron.

15                   Selon un deuxième aspect, l'invention concerne un procédé de mise en œuvre du système pour la détermination automatique de la masse volumique d'un objet (100) appartenant à un lot d'objets, comprend les étapes d'étalonnage suivantes :

20                   - une étape 1 d'étalonnage de position de deux ensembles infrarouges de l'unité de détermination de la dimension significative des objets,

- une étape 2 d'étalonnage de position d'un support d'irradiation de l'unité de détermination par spectrométrie gamma de l'intensité du faisceau photonique atténuée par la traversée des objets,

25                   - une étape 3 d'étalonnage de mesure d'un ensemble source-détecteur de l'unité de détermination par spectrométrie gamma de l'intensité du faisceau photonique atténuée par la traversée des objets,

30

et il comprend des étapes de détermination proprement dite de la dimension significative des objets, qui sont effectuées sur chaque objet dudit lot d'objets.

5 Selon l'invention, les étapes de détermination proprement dite comprennent :

- une étape 4 de détermination de la dimension significative de l'objet à contrôler,
- une étape 5 de transport de l'objet vers  
10 un support d'irradiation,
- une étape 6 d'ajustement de la position de l'objet par ajustement de la position du support d'irradiation par rapport à une source et un détecteur associé,
- 15 - une étape 7 de détermination de l'intensité atténuée du faisceau photonique transmis à travers l'objet,
- une étape 8 d'acquisition, traitement et analyse du spectre obtenu,
- 20 - une étape 9 de détermination de la variation relative  $\frac{\Delta\rho}{\rho}$  de masse volumique de l'objet par rapport à celle d'un ou plusieurs objet(s) étalon(s) en masse volumique,
- une étape 10 de transport retour de  
25 l'objet jusqu'à son emplacement sur le plateau tournant.

Les procédés et dispositifs selon l'invention présentent l'intérêt commun d'être rapides, précis, automatiques ou automatisables, et d'une  
30 utilisation aisée.

Un avantage de l'invention réside dans le fait qu'elle associe l'atténuation photonique en ligne droite avec une métrologie micrométrique afin de pallier les incertitudes liées à la méconnaissance des épaisseurs des objets traversés, et qui affectent directement la précision de la détermination de la masse volumique.

En particulier, le positionnement de chaque objet par rapport à l'unité de détermination de l'intensité photonique atténuée par la traversée dudit objet est ajusté en fonction d'une dimension significative dudit objet, qui a été préalablement déterminée par l'unité de détermination de dimension significative.

#### 15 BRÈVE DESCRIPTION DES DESSINS

L'invention sera mieux comprise à la lecture de la description détaillée qui va suivre d'un mode de réalisation préféré, donné à titre d'exemple non limitatif, qui est illustré par les dessins annexés dans lesquels :

- la figure 1 est une vue schématique de dessus du système général de détermination de la dimension significative et de la détermination de la masse volumique des objets,
- 25 - la figure 2 est une vue schématique en perspective du système général de détermination de la dimension significative et de la détermination de masse volumique des objets,
- les figures 3, 4, et 5 illustrent en vue  
30 de dessus et de façon schématique le dispositif de

détermination d'une dimension significative des objets au moyen de rayonnement infrarouge, et trois phases du procédé de détermination de cette dimension significative,

5                   - la figure 6 est une vue en perspective et en coupe du collimateur de la source d'irradiation photonique,

                  - la figure 7 est une vue en perspective et en coupe du collimateur du détecteur des photons  
10 gamma,

                  - la figure 8 est une vue schématique montrant la chaîne d'acquisition et de comptage,

                  - les figures 9A et 9B illustrent l'ensemble des étapes du procédé de détermination de la  
15 masse volumique des objets ; la figure 9A illustre les étapes d'étalonnage préalables et la figure 9B illustre les étapes de détermination proprement dites ;

                  - la figure 10 illustre la première étape du procédé, qui est une étape d'étalonnage de position  
20 de l'unité de détermination de la dimension significative ;

                  - la figure 11 illustre la deuxième étape du procédé, qui est une étape d'étalonnage de position de l'unité de détermination de l'intensité photonique  
25 atténuée ;

                  - la figure 12 illustre la troisième étape du procédé, qui est une étape d'étalonnage de mesure de l'unité de détermination de l'intensité photonique atténuée ;

- la figure 13 illustre la quatrième étape du procédé, qui est une étape de détermination de la dimension significative d'un objet ;

5 - la figure 14 illustre la neuvième étape du procédé, qui est une étape de détermination de la variation relative de masse volumique de l'objet par rapport à celle d'un ou plusieurs objets étalons ;

10 - la figure 15 est un graphique illustrant la variation relative de masse volumique des objets d'un lot donné d'objets par rapport à la masse volumique de l'un des objets pris comme étalon ou référence, et compare cette variation relative de masse volumique obtenue par l'invention avec la variation relative de masse volumique théorique fournie par le  
15 fabricant d'objets.

#### EXPOSÉ DÉTAILLÉ D'UN MODE DE RÉALISATION PARTICULIER

Les figures 1 et 2 illustrent respectivement en vue de dessus et en perspective un mode de réalisation préféré du système général de  
20 détermination par atténuation photonique de la masse volumique de chaque objet 100 d'un lot d'objets par détermination de la variation relative de cette masse volumique par rapport à celle d'au moins un desdits objets pris comme référence ou étalon en masse  
25 volumique, cette détermination de masse volumique mettant en œuvre la détermination préalable d'une dimension significative  $x$  dudit objet 100, et de l'intensité  $I$  du faisceau photonique qui irradie et traverse ledit objet 100.

Le système comprend les composants suivants :

- une unité 2 de détermination de la dimension significative de l'objet 100,
- 5       - une unité 30 de détermination de l'intensité du faisceau photonique atténué par la traversée de l'objet 100,
- une unité 200 d'acquisition, de traitement, et d'analyse.
- 10       - des moyens de transport 70, 72, 80, 82, 84, 86, 88 et des moyens d'ajustement de position 74, 76, 78, 90, 92, 94, 96, 98 de l'objet 100, respectivement par rapport à l'unité 2 de détermination de dimension et par rapport à l'unité 30 de
- 15 détermination d'intensité,

L'unité 200 d'acquisition, de traitement et d'analyse est schématisée dans son ensemble à la figure 1. Elle comprend notamment un ordinateur 170 de type PC sur lequel est implanté un logiciel dédié qui exécute

20 des séries d'instructions et des algorithmes de calcul du procédé de détermination automatique de la masse volumique d'objets 100 selon l'invention.

En se référant aux figures 3, 4, et 5, l'unité 2 de détermination par rayonnement infrarouge

25 d'une dimension significative  $x$  de l'objet 100 comprend :

- un premier ensemble infrarouge 4, 6 constitué d'un premier émetteur infrarouge 4 et d'un premier récepteur infrarouge 6,
- 30       - un deuxième ensemble infrarouge 8, 10 constitué d'un deuxième émetteur infrarouge 8 et d'un

deuxième récepteur infrarouge 10.

Les deux ensembles infrarouges 4, 6, et 8, 10, sont agencés de telle manière que les axes respectifs 12, 14 des faisceaux de rayonnement infrarouges qu'ils engendrent sont parallèles entre eux, et écartés d'une distance d. Cette distance d, fixée par le constructeur, est choisie de manière à être du même ordre de grandeur que la dimension significative x des objets 100 à contrôler. Elle est ajustable. Sur l'exemple illustré, les faisceaux infrarouges sont orientés dans le même sens, mais une configuration différente pourrait être envisagée.

L'unité 2 de détermination de la dimension significative x de l'objet 100 par rayonnement infrarouge comprend en outre un troisième ensemble constitué d'un émetteur photoélectrique 16 et d'un récepteur photoélectrique 18, disposé en amont du premier ensemble infrarouge 4, 6, par rapport au deuxième ensemble infrarouge 8, 10, le faisceau photoélectrique qu'il engendre ayant un axe 19. Sur l'exemple illustré, l'axe 19 du faisceau photoélectrique est parallèle aux axes 12, 14 des faisceaux infrarouges, et situé dans le même plan que ceux-ci. Une configuration différente pourrait être envisagée.

L'unité 2 de détermination de la dimension significative x de l'objet 100 par rayonnement infrarouge est associée à des moyens de transport et/ou à des moyens d'ajustement de position de l'objet 100 par rapport aux trois ensembles émetteurs-récepteurs 4, 6, 8, 10, 16, 18, qui seront décrits par la suite.



En fonctionnement, l'unité 2 de détermination de la dimension significative de l'objet 100 se trouve dans une situation dans laquelle les trois ensembles émetteurs-récepteurs 4, 6, 8, 10, 16, 18 sont fixes, et l'objet 100 est déplacé de manière à intercepter successivement le faisceau photoélectrique, puis le premier faisceau infrarouge, puis le deuxième faisceau infrarouge.

L'unité 2 est étalonnée de manière à établir une distance  $d$  entre les axes 12 et 14 des deux faisceaux de rayonnement infrarouge qui soit sensiblement proche de la dimension significative  $x_{edim}$  d'un ou plusieurs objets  $edim$  pris comme étalons en dimension. Cet étalonnage sera décrit par la suite. Il s'ensuit que lors de la détermination de la dimension significative d'un objet 100 (non étalon), celui-ci se déplace relativement aux trois ensembles émetteurs-récepteurs 4, 6, 8, 10, 16, 18, et passe par au moins une position dans laquelle il intercepte encore la moitié du premier faisceau infrarouge (figure 5, référence 22), et n'intercepte pas encore la totalité du deuxième faisceau infrarouge, laissant une fraction du deuxième faisceau (figure 5, référence 24) qui n'est pas interceptée par l'objet 100, et qui atteint le deuxième récepteur 10.

La dimension significative  $x$  de l'objet 100 se déduit de la réponse infrarouge  $RI$  correspondant à cette fraction de faisceau non interceptée. Cette dimension est obtenue par une relation du type :

$$x = A_4.(RI^4) + A_3.(RI^3) + A_2.(RI^2) + A_1.(RI^1) + A_0 ,$$

où  $A_4, A_3, A_2, A_1, A_0$  sont des coefficients obtenus en

utilisant au moins quatre objets étalons en dimension  $x_{\text{edim}}$ , et en appliquant autant de fois cette même relation, dans laquelle sont injectées la dimension significative  $x_{\text{edim}}$  connue et la réponse infrarouge  $RI_{\text{edim}}$  mesurée de chacun desdits objets étalons en dimension  $x_{\text{edim}}$ .

Comme représenté sur la figure 4, le troisième ensemble 16, 18 a pour fonction de déclencher automatiquement l'ajustement préalable de l'intensité des deux faisceaux infrarouges 22, 24, lorsqu'au cours du déplacement relatif selon la direction 20, l'objet 100 intercepte le faisceau photoélectrique engendré par ce troisième ensemble 16, 18. Cette opération a pour but de s'affranchir des perturbations environnementales telles que la salissure des optiques. Elle doit avoir lieu au plus tard 30 secondes avant l'opération de mesure proprement dite sur l'objet 100.

La précision de la détermination de la dimension significative  $x$  de l'objet 100 est fonction de la précision du déplacement relatif de l'objet 100 par rapport aux trois ensembles émetteurs-récepteurs 4, 6, 8, 10, 16, 18, et donc des performances et de l'étalonnage des moyens de transport et/ou d'ajustement de position, aspects qui seront décrits plus en détail par la suite.

Selon l'invention, la détermination de l'intensité  $I$  du faisceau photonique est effectuée au moyen d'une unité 30 de détermination par spectrométrie gamma de l'intensité du faisceau photonique qui irradie et traverse les objets 100, comme illustré aux figures 1, 2 et 8. Celle-ci comprend :

- un ensemble formé d'une source d'irradiation photonique et d'un collimateur 32, de type connu en soi,

5 - un ensemble formé d'un détecteur et d'un collimateur 40, de type connu en soi,

- une chaîne d'acquisition et de comptage 48, de type connu en soi.

Pour simplifier la description, la source d'irradiation photonique sera par la suite nommée  
10 "source".

Les différents éléments constitutifs de l'unité 30 de détermination sont soumis à certaines contraintes liées à la performance souhaitée pour le système général, ainsi qu'à l'environnement dans lequel  
15 le système est destiné à fonctionner. Ces contraintes, qui concernent notamment l'intensité de la source, le type de source, et les performances de la chaîne d'acquisition et de comptage, sont les suivantes :

- la source doit avoir une intensité telle  
20 que la dispersion statistique des résultats de mesure soit nettement inférieure à la variation de comptage due à un écart de masse volumique de l'objet à contrôler par rapport à la masse volumique de l'objet étalon pris comme référence,

25 - l'énergie de la source doit permettre un très bon contraste à la suite d'une légère variation de la masse volumique de l'objet à contrôler,

- la source ne doit pas présenter une période radioactive trop courte de manière à ne pas  
30 être contraignante en milieu industriel,

- enfin, l'intensité et l'énergie de la

source doivent être compatibles avec les capacités de traitement de la chaîne électronique d'acquisition et de comptage (temps mort, empilement, saturation...).

Selon le mode de réalisation préféré, la  
5 source est réalisée en  $^{133}\text{Ba}$  d'au moins 10 mCi d'activité. Pour éviter les effets de temps mort et/ou de saturation, il est préféré d'utiliser une source dont l'activité ne dépasse pas 150 mCi. La durée de mesure est inversement proportionnelle à l'activité de  
10 la source.

Un exemple de réalisation du collimateur 32 de l'ensemble source-collimateur, compatible avec ces différentes contraintes, est illustré à la figure 6. Il comprend un coffrage de protection 34, pour assurer la  
15 sécurité des personnes travaillant à proximité de la source, qui délimite une cavité 36 dans laquelle est logée la source. Le faisceau de photons gamma est guidé par une fente de collimation 38.

Selon l'exemple de réalisation illustré, le  
20 collimateur 32 de la source est réalisé en plomb et présente comme dimensions extérieures une hauteur de 60 mm, une longueur de 60 mm, et une largeur de 60 mm. La source est une source de  $^{133}\text{Ba}$  de 10 mCi d'activité, qui est logée dans une cavité 36 ayant un diamètre de 6,1  
25 mm et une hauteur de 9,5 mm. La fente de collimation 38 présente quant à elle une longueur de 30 mm, une largeur de 6 mm, et une hauteur de 4 mm.

Un exemple de réalisation du collimateur 40 de l'ensemble détecteur-collimateur est illustré à la  
30 figure 7. Il comprend un coffrage de protection 42 pour que les rayons gamma, issus de la source et émis en

dehors de la fente de collimation 38 ne soient pas perçus par le détecteur 49, une fente de collimation 44, et une cavité 46 de logement du détecteur 49, délimitée par le coffrage de protection 42.

5                Selon l'exemple de réalisation illustré, le collimateur 40 du détecteur 49 est réalisé en plomb et présente comme dimensions extérieures un diamètre de 140 mm et une longueur de 120 mm, et comme dimensions intérieures un diamètre de 80 mm et une longueur de  
10 200 mm. La fente de collimation présente une hauteur de 4 mm, une largeur de 6 mm, et une longueur de 30 mm.

              Le plomb du coffrage de protection 42 peut être remplacé par du tungstène, qui atténue davantage les rayons gamma que le plomb, ce qui présente  
15 l'avantage de réduire l'épaisseur du coffrage de protection 42, mais le tungstène a pour inconvénient son prix plus élevé que celui du plomb.

              Par la suite, et pour simplifier la description, l'ensemble source-collimateur sera dénommé  
20 simplement « source » et référencé 32, et l'ensemble détecteur-collimateur sera dénommé simplement « détecteur » et sera référencé 40.

              La distance source-détecteur est choisie de façon appropriée.

25                Selon le mode de réalisation préféré, la chaîne d'acquisition et de comptage 48, illustrée à la figure 8, comprend :

              - un détecteur 49, sous forme d'une diode à germanium de haute pureté Ge [HP], ayant un  
30 préamplificateur,

- un module 50 de traitement du signal (DSP : Digital Signal Processor),
- un module haute tension 54,
- un module réseau 56 d'acquisition et
- 5 d'interface (AIM : acquisition interface module),
- un ordinateur 170 de type PC d'acquisition de données (figure 1).

De façon optionnelle la chaîne d'acquisition et de comptage comprend un cryostat 60  
10 constitué d'un réservoir d'azote liquide, qui maintient à température constante le doigt froid de la diode Ge [HP], ce qui présente l'avantage de minimiser l'effet Doppler et d'obtenir une très bonne résolution du signal, les mesures n'étant pas perturbées par un  
15 échauffement du détecteur 49.

Le préamplificateur est de préférence incorporé dans la diode Ge [HP], ce qui présente l'avantage de minimiser l'effet de capacité dû au câble électrique et de réduire le bruit de fond électronique.  
20 Il assure également le filtrage et la mise en forme du signal.

Le signal est ensuite numérisé au moyen du module de traitement du signal 50, puis mis en mémoire.

L'ensemble des informations obtenues  
25 constitue le spectre gamma, c'est à dire l'histogramme classant dans différents canaux le nombre d'impulsions en fonction de leur énergie.

Les données sont transférées (flèche 62) entre le module 50 de traitement du signal et  
30 l'ordinateur 170 de l'unité 200, d'acquisition, de traitement et d'analyse, via le module réseau 56

d'acquisition et d'interface, un émetteur-récepteur 63, et une carte réseau 59. Sur l'exemple illustré, l'unité 200 d'acquisition, de traitement et d'analyse ainsi que la chaîne 48 d'acquisition et de comptage utilisent le même ordinateur 170, mais une configuration avec deux ordinateurs distincts pourrait être envisagée.

Cette chaîne d'acquisition et de comptage 48 est particulièrement adaptée aux forts taux de comptage.

Par ailleurs, une autre contrainte d'utilisation de l'unité 30 de détermination par spectrométrie gamma de l'intensité du faisceau photonique qui irradie les objets 100 concerne le temps de comptage de la chaîne 48 d'acquisition et de comptage, qui doit respecter les cadences de fabrication des objets 100 à contrôler.

Selon l'invention, le temps de comptage peut être une donnée d'entrée du système, ou bien le résultat d'un calcul, fourni par la relation théorique suivante :

$$t = \frac{\alpha^2}{A(t) \cdot \frac{s}{4\pi D^2} \cdot \varepsilon \cdot \sum_P \cdot R_0 \cdot (R_0^{\beta_{sc}} - 1)^2}$$

avec une approximation selon laquelle l'angle solide est égal à  $4\pi D^2$ .

où :

A(t) est l'activité de la source, en Bq,  
D est la distance entre la source et une fenêtre de collimation, en mm,  
s est la surface de la fenêtre de collimation du détecteur, en mm<sup>2</sup>,

$\alpha$  est la largeur de l'intervalle de confiance dans l'hypothèse où le comptage suit une loi de Poisson,  
 $\varepsilon$  est l'efficacité d'absorption totale du détecteur de photons,

- 5 I est l'intensité du faisceau photonique à l'énergie E, atténuée par la traversée de l'objet, en  $\gamma.s^{-1}$ ,  
 $I_0$  est l'intensité non atténuée du faisceau photonique à l'énergie E, en  $\gamma.s^{-1}$ ,

- $R_0 = \frac{I}{I_0}$  est le coefficient de transmission de l'objet  
 10 traversé par les photons monochromatiques issus de la source,

$\Sigma$  est le nombre total de coups enregistrés dans le spectre mesuré, en coups,

- P est le nombre total de coups contenus dans le pic  
 15 d'énergie E,

$\beta_{sec} = \frac{\beta}{10}$  est une valeur de  $\beta$  affectée d'un facteur de sécurité égal à 10,

avec  $\beta = \frac{\Delta\rho}{\rho}$ ,

et où  $\rho$  est la masse volumique de l'objet.

- 20 La précision de la détermination de l'intensité I atténuée par la traversée de l'objet 100 dépend notamment de la position dudit objet 100 par rapport à la source 32. Elle dépend donc des performances et de l'étalonnage des moyens d'ajustement  
 25 de position. Ces aspects seront décrits plus en détail par la suite.

Les différents moyens de transport 70, 72, 80, 82, 84, 86, 88 et d'ajustement de position 74, 76,



78, 90, 92, 94, 96, 98 sont illustrés aux figures 1 et 2 montrant le système dans son ensemble. Ils ont pour fonction de transporter l'objet 100 vers chaque unité 2, 30 de détermination ou d'ajuster la position relative de l'objet 100 par rapport aux éléments constitutifs de chaque unité 2, 30 de détermination.

Une plaque de support 150 supporte les composants du système général, à savoir l'unité 2 de détermination de la dimension significative, l'unité 30 de détermination de l'intensité du faisceau atténué, les moyens de transport, les premiers moyens d'ajustement, et les deuxièmes moyens d'ajustement. Les directions de déplacement sont schématisées par le référentiel 152 de la figure 2. Les déplacements ont lieu dans le plan horizontal (X, Y) de la plaque de support 150, ou selon la direction verticale Z perpendiculaire au plan horizontal (X, Y) de la plaque de support 150.

Les moyens de transport 70, 72, ont pour fonction de transporter l'objet 100 dans une première position dans laquelle l'unité 2 détermine la dimension significative dudit objet 100. Ils comprennent un plateau tournant horizontal 70 actionné par un moteur pas à pas 72, tous deux installés sur la plaque de support 150. Sur l'exemple illustré, le plateau tournant 70 comprend douze emplacements d'objets.

Les premiers moyens d'ajustement 74, 76, 78 ont pour fonction d'ajuster la position de l'objet 100 par rapport aux deux ensembles infrarouges 4, 6 et 8, 10, au moyen desquels est mesurée la dimension significative x de l'objet 100.

Le moyen d'ajustement 74 est une glissière orientée suivant la direction X, dans laquelle sont positionnés le socle 26 de l'unité 2 de détermination de dimension par rayonnement infrarouge, et le plateau tournant 70.

Les deux ensembles infrarouges 4, 6, et 8, 10 sont installés sur le socle 26 de telle manière que les axes 12, 14 des faisceaux infrarouges soient parallèles à cette direction X. Pour un lot donné d'objets dont les dimensions sont sensiblement toutes du même ordre de grandeur, les positions relatives du socle 26 et du plateau tournant 70 selon cette direction X sont de préférence fixées une fois pour toutes au début de la série de mesures pour le lot donné d'objets.

Le moyen d'ajustement 76 est un vérin dont la fonction est de rapprocher ou écarter le premier ensemble infrarouge 4, 6 du deuxième ensemble infrarouge 8, 10 suivant la direction Y. Ce déplacement du premier ensemble infrarouge 4, 6 selon la direction Y permet de positionner avec une précision micrométrique l'objet 100 par rapport aux deux faisceaux de rayonnement infrarouge pour la détermination de sa dimension significative x, diamètre ou épaisseur.

Le moyen d'ajustement 78 est un vérin dont la fonction est de déplacer le socle 26 suivant la direction Z. L'amplitude de ce déplacement est relativement faible, afin d'éviter que le socle 26 sorte de la glissière 74. Le déplacement du socle selon la direction Z permet de connaître avec une précision

micrométrique la cote de l'objet 100 à laquelle est effectuée la détermination de sa dimension significative x.

Les moyens de transport 70, 72, 80, 82, 84, 86, 88 ont également pour fonction de déplacer l'objet 100 de sa première position dans laquelle l'unité 2 détermine la dimension significative x vers sa deuxième position dans laquelle l'unité 30 détermine l'intensité atténuée I du faisceau photonique. Ils comprennent le plateau tournant 70 actionné par son moteur pas à pas 72. En effet, plusieurs objets 100 étant disposés en cercle sur le plateau tournant 70, la rotation dudit plateau 70 remplit deux actions simultanées consistant d'une part à transporter un objet 100 vers sa première position de mesure et d'autre part à éloigner l'objet 100 précédent de sa première position de mesure pour l'emmener vers une position intermédiaire après lui avoir fait effectuer un déplacement angulaire d'angle A. Sur l'exemple illustré aux figures 1 et 2, cet angle A est de 90°. Les moyens de transport comprennent également un bras de manutention 80 qui saisit l'objet 100 installé sur le plateau tournant 70 en sa position intermédiaire et le transporte sur un support d'irradiation 90 disposé entre le collimateur 32 de la source et le collimateur 40 du détecteur. Selon l'exemple illustré à la figure 2, le bras de manutention 80 comprend une pince de préhension 82 articulée sur un segment intermédiaire 84, lui-même articulé sur un vérin 86 capable de se déplacer en translation selon la direction X de la plaque de support 150, le long de rails de guidage 88. Les

mouvements de serrage/desserrage de la pince 82 et de pivotement de celle-ci par rapport au segment 84, ainsi que les mouvements de pivotement du segment 84 par rapport au vérin 86 sont commandés par des actionneurs (non représentés).

Les deuxièmes moyens d'ajustement 90, 92, 94, 96, 98 ont pour fonction d'ajuster la position de l'objet 100 par rapport à la source 32 et au détecteur 40 de l'unité 30 de détermination par spectrométrie gamma de l'intensité du faisceau qui va traverser ledit objet 100. Ils comprennent le support d'irradiation 90 sur lequel est installé l'objet 100. Ce support d'irradiation 90 présente une face supérieure 92 à section en forme de V, ou tout autre moyen équivalent pour que l'objet 100 se trouve automatiquement installé en position d'équilibre stable sur ledit support d'irradiation 90, et notamment qu'il soit empêché de se déplacer par rapport au support d'irradiation 90 selon la direction X de la plaque de support 150. Le support d'irradiation 90 est positionné suivant la direction X de la plaque de support 150 au moyen d'une glissière 94, qui, de préférence, est confondue avec la glissière 74. Pour un lot donné d'objets 100, ce positionnement est effectué une fois pour toutes au début de la série de mesures correspondant à un lot donné d'objets. Le support d'irradiation 90 peut être déplacé selon la direction Y de la plaque de support 150 au moyen d'un vérin 96 et selon la direction Z perpendiculaire à la plaque de support 150 au moyen d'un vérin 98. Les ajustements de position effectués par les vérins 96 et 98 permettent de centrer sensiblement l'objet (suivant

la direction Z) entre les fentes des collimateurs respectifs de la source 32 et du détecteur 40.

D'autre part il est nécessaire de positionner avec une précision micrométrique l'objet  
5 suivant la direction Y de telle manière que la mesure d'intensité I du faisceau photonique s'effectue exactement à la cote de l'Objet à laquelle a été effectuée la détermination de sa dimension significative x. Ce positionnement est effectué par une  
10 mise en butée de l'objet sur la face supérieure 92 du support d'irradiation 90. Cette mise en butée peut être effectuée par exemple par une opération de soufflage au moyen d'un dispositif de soufflage (non représenté, qui envoie de l'air comprimé sur l'objet, suivant la  
15 direction Y, afin de plaquer celui-ci contre une butée 93 du support d'irradiation 90.

Sur la figure 1. sont illustrées les liaisons par des moyens de connexion appropriés 180 entre d'une part les différents vérins 76, 78, 86, 96,  
20 98 de déplacement des pièces mobiles en translation et le moteur pas à pas 72 qui entraîne en rotation le plateau tournant 70, et d'autre part des unités 160 de contrôle et de pilotage. Ces unités 160 commandent la mécanique et l'automatique du système, et sont reliées  
25 à l'unité centrale 172 de l'ordinateur 170 de l'unité 200 d'acquisition, de traitement et d'analyse, par d'autres moyens de connexion appropriés 190.

On va maintenant décrire le procédé de détermination de la masse volumique  $\rho$  de chacun des  
30 objets d'un lot donné d'objets 100, par comparaison avec la masse volumique  $\rho_{emas}$  d'un ou plusieurs objet(s)

choisi(s) comme étalon(s) ou référence(s) en masse volumique, et faisant partie du même lot d'objets 100.

Le procédé est mis en œuvre au moyen d'algorithmes traduisant des séries d'instructions qui  
5 permettent d'effectuer de manière automatique les différentes étapes du procédé.

Le procédé de l'invention comprend des étapes préalables d'étalonnage, qui sont effectuées une fois pour toutes avant de commencer une série de  
10 mesures sur un lot donné d'objets, et des étapes de détermination proprement dites, qui sont effectuées sur chaque objet 100 dudit lot d'objets. L'ensemble des étapes du procédé est représenté de façon synthétique sur les figures 9A et 9B.

15 Les étapes d'étalonnage respectent une chronologie pré-établie, et concernent les composants suivants du système :

- étape 1 : étalonnage de position des deux ensembles infrarouges 4, 6 et 8, 10 de l'unité 2 de  
20 détermination de la dimension significative des objets 100,

étape 2 : étalonnage de position du support d'irradiation 90 de l'unité 30 de détermination par spectrométrie gamma de l'intensité du faisceau  
25 photonique atténuée par la traversée des objets 100,

- étape 3 : étalonnage de mesure de l'ensemble source-détecteur 32, 40 de l'unité 30.

L'étape 1 d'étalonnage de position des deux ensembles infrarouges 4, 6 et 8, 10 est illustrée sur  
30 la figure 10.

Cette étape 1 d'étalonnage consiste à ajuster la position suivant la direction Y du premier ensemble infrarouge 4, 6 par rapport au deuxième ensemble infrarouge 8, 10, afin de fixer l'écartement d entre les faisceaux infrarouges émis respectivement par les deux émetteurs 4, 8, en fonction de la dimension significative  $x_{edim}$  connue précisément d'un ou plusieurs objet(s) étalon(s) en dimension edim. En pratique, l'écartement d est établi en éloignant progressivement le premier ensemble infrarouge 4, 6 du deuxième ensemble infrarouge 8, 10 suivant la direction Y, ce dernier restant fixé à une position  $Y_{FIX}$ , et en mesurant la réponse infrarouge de l'objet pour chaque position du premier ensemble infrarouge 4, 6.

L'étape 1 d'étalonnage de position des deux ensembles infrarouges 4, 6 et 8, 10 comprend tout d'abord une saisie par l'opérateur d'un ensemble de paramètres d'entrée au moyen d'un module interactif. Ces paramètres comprennent :

- la configuration des composants qui ont un déplacement micrométrique : vérins 76, 78, ce qui permet de gérer leur cinématique : position, vitesse, accélération,

- la configuration du plateau tournant 70, c'est-à-dire la nature des objets qui occupent les différents emplacements sur le plateau tournant 70 : objet quelconque 100, ou objet étalon en dimension edim, ou objet étalon en masse volumique emas, ou emplacement libre,

- l'emplacement occupé par les objets étalons en dimension edim sur le plateau tournant 70,

cet emplacement étant un nombre allant de 1 à 12 pour l'exemple illustré,

- la position  $Z_{\text{mesure}}$  suivant la direction Z du socle 26 de l'unité 2, qui correspond à une cote  $z_{\text{edim}}$  sur l'objet edim par rapport à la base de celui-ci,
- les positions  $Y(1)$  et  $Y(N)$  bornant l'intervalle de déplacement du premier ensemble infrarouge 4, 6 suivant la direction Y,
- le pas INT exprimé en  $\mu\text{m}$  du déplacement du premier ensemble infrarouge 4, 6 suivant la direction Y, (il faut que  $\frac{Y_{\text{DEP}} - Y_{\text{ARR}}}{\text{INT}}$  soit un nombre entier).

L'étape 1 d'étalonnage de position des deux ensembles infrarouges 4, 6 et 8, 10 comprend ensuite les opérations automatisées suivantes :

- a) déplacement du socle 26 suivant la direction Z jusqu'à la position  $Z_{\text{mesure}}$ , par actionnement du vérin 78,
- b) déplacement angulaire du plateau tournant 70 afin de transporter l'objet étalon en dimension edim jusqu'à sa position initiale de mesure par rapport à l'unité 2,
- c) déplacement du premier ensemble infrarouge 4, 6 suivant la direction Y jusqu'à sa position de départ  $Y(1)$ , par actionnement du vérin 76,
- d) déplacement progressif, par incréments successifs de INT, du premier ensemble infrarouge 4, 6 suivant la direction Y, en l'éloignant du deuxième ensemble infrarouge 8, 10 fixé à une position  $Y_{\text{FIX}}$ ,



entre les positions  $Y(1)$  et  $Y(N)$ , et détermination simultanée de la réponse infrarouge  $RI(n)$  de l'objet edim, correspondant à chaque position  $Y(n)$ , de la manière suivante :

5                                    d-1) déplacement angulaire du plateau tournant 70 afin de transporter l'objet étalon en dimension edim à sa position finale de mesure,

                                  d-2) mesure de la réponse infrarouge  $RI(n)$  dudit objet étalon en dimension edim,

10                                  d-3) déplacement angulaire du plateau tournant 70 afin de ramener l'objet étalon en dimension edim à sa position initiale de mesure,

                                  e) calcul de la réponse infrarouge optimale

$$RI_{OPT} = \frac{RI_{MAX} - RI_{MIN}}{2}$$

15    où :  $RI_{MIN}$  est la valeur de la saturation minimale de la réponse infrarouge : au début de l'étalonnage, l'écartement des deux ensembles infrarouges 4, 6, et 8, 10 est très inférieur à la dimension significative  $x_{edim}$  de l'objet étalon en dimension edim ; par suite, lorsque 50% du premier faisceau infrarouge est intercepté par l'objet edim, 100% du deuxième faisceau infrarouge est intercepté par cet objet edim ; les premières réponses infrarouges ont alors une valeur identique  $RI_{MIN}$

20

25    dite « saturée »,

         et :  $RI_{MAX}$  est la valeur de la saturation maximale de la réponse infrarouge : à la fin de l'étalonnage, l'écartement des deux ensembles infrarouges 4, 6, et 8, 10 est très supérieur à la dimension significative  $x_{edim}$  de l'objet étalon en dimension edim ; par suite, lorsque 50% du premier faisceau

30

infrarouge est intercepté par l'objet edim, 0% du deuxième faisceau infrarouge est intercepté par cet objet edim ; les dernières réponses infrarouges ont alors une valeur identique  $RI_{MAX}$ .  
 dite « saturée »,

f) calcul de la position optimale  $Y_{OPT}$  du premier ensemble infrarouge 4, 6 par rapport au deuxième ensemble infrarouge 8, 10 : la réponse infrarouge optimale  $RI_{OPT}$  est comprise entre deux valeurs successives  $RI(j)$  et  $RI(k)$  précédemment calculées de la réponse infrarouge, qui correspondent respectivement à deux positions  $Y(j)$  et  $Y(k)$  du premier ensemble infrarouge 4, 6 ; la position optimale  $Y_{OPT}$  s'en déduit de la manière suivante :

si  $\frac{RI_{OPT} - RI(j)}{RI_{OPT} - RI(k)} < 1$  , alors  $Y_{OPT} = Y(j)$   
 si  $\frac{RI_{OPT} - RI(j)}{RI_{OPT} - RI(k)} > 1$  , alors  $Y_{OPT} = Y(k)$

Les opérations a) à f) ci-dessus peuvent être renouvelées avec autant d'autres objets étalons en dimension edim que nécessaire.

A l'issue de l'étape 1 d'étalonnage de position des deux ensembles infrarouges 4, 6 et 8, 10, il est créé un premier fichier d'étalonnage qui comporte, notamment, l'écartement optimal d des deux ensembles infrarouges 4, 6 et 8, 10 correspondant sensiblement à la dimension significative des objets  
 $d = \|Y_{FIX} - Y_{OPT}\|$ .

L'étape 2 d'étalonnage de position du support d'irradiation 90 de l'unité 30 de détermination par spectrométrie gamma de l'intensité du faisceau

photonique atténuée par la traversée des objets 100 est illustrée de façon synthétique sur la figure 11.

Cette étape 2 d'étalonnage consiste à ajuster la position suivant la direction Z du support d'irradiation 90 par rapport à la source 32 et au détecteur 40 associé, afin de fixer la position  $Z_{OPT}$  suivant la direction Z de la face supérieure 92 du support d'irradiation 90 sur lequel sont positionnés les objets 100 traversés par le faisceau photonique, en fonction de la masse volumique  $\rho$  connue précisément d'un ou plusieurs objet(s) étalon(s) en masse volumique emas. En pratique, la position  $Z_{OPT}$  est établie en déplaçant progressivement le support d'irradiation 90 suivant la direction Z, et en irradiant plusieurs fois l'objet étalon en masse volumique emas installé sur le support d'irradiation 90 pour chacune des positions de celui-ci. Elle résulte du calcul d'un minimum d'une régression polynomiale d'ordre 4. Elle comporte une étape de détermination de la dimension significative  $x_{emas}$  de chaque objet emas étalon en masse volumique.

L'étape 2 d'étalonnage de position du support d'irradiation 90 de l'unité 30 comprend tout d'abord une saisie par l'opérateur d'un ensemble de paramètres d'entrée au moyen d'un module interactif. Ces paramètres comprennent :

- la configuration des composants qui ont un déplacement micrométrique : vérins 96, 98, ce qui permet de gérer leur cinématique : position, vitesse, accélération,
- la configuration du plateau tournant 70, c'est-à-dire la nature des objets qui occupent les

différents emplacements sur le plateau tournant 70 :  
objet quelconque 100, ou objet étalon en dimension  
edim, ou objet étalon en masse volumique emas, ou  
emplacement libre,

5                   - l'emplacement occupé par les objets  
étalons en masse volumique emas sur le plateau tournant  
70, cet emplacement étant un nombre allant de 1 à 12  
pour l'exemple illustré,

                  - la durée de mesure ou temps de comptage,  
10               - les positions Z(1) et Z(N) bornant  
l'intervalle de déplacement du support d'irradiation 90  
suivant la direction Z,

                  - le nombre M de mesures de l'intensité  
photonique atténuée par la traversée de l'objet, pour  
15 chaque position Z(i) occupée par le support  
d'irradiation, pour  $i = 1, \dots, N$ .

L'étape 2 d'étalonnage de position du  
support d'irradiation 90 de l'unité 30 comprend ensuite  
les opérations automatisées suivantes :

20               a) détermination de la dimension  
significative  $x_{emas}$  de l'objet étalon en masse  
volumique, conformément à l'étape 4 qui sera décrite  
ci-après,

                  b) déplacement angulaire du plateau  
25 tournant 70, d'un angle A, afin de transporter l'objet  
étalon en masse volumique emas en une position  
intermédiaire où il est saisi par le bras de préhension  
80,

                  c) positionnement de l'objet emas sur le  
30 support d'irradiation 90, qui comporte les sous-  
opérations suivantes :

c-1) déplacement du support d'irradiation 90, suivant la direction Z et vers le bas, par actionnement du vérin 98,

5 c-2) déplacement du bras de manutention 80 depuis sa position d'attente jusqu'à la verticale de la position intermédiaire de l'objet emas, par actionnement du vérin 86,

10 c-3) saisie, par le bras de manutention 80, de l'objet emas, et transport de celui-ci jusqu'à la verticale de la face supérieure 92 du support d'irradiation 90, par actionnement du vérin 86,

15 c-4) déplacement du support d'irradiation 90 jusqu'à la position Z(1), suivant la direction Z et vers le haut, par actionnement du vérin 98,

c-5) dépose de l'objet emas sur la face supérieure 92 du support d'irradiation 90, par le bras de manutention 80, par actionnement du vérin 86,

20 c-6) déplacement retour du bras de manutention 80 jusqu'à sa position d'attente, par actionnement du vérin 86,

25 c-7) mise en butée de l'objet emas sur la face supérieure 92 suivant la direction Y, par exemple par une opération de soufflage, qui se déroule de la manière suivante :

- déplacement du support d'irradiation 90 suivant la direction Z et vers le bas jusqu'à une position dite de soufflage, dans laquelle l'objet se trouve en regard d'un dispositif de soufflage prévu dans le système,

30

- envoi d'air comprimé  
provenant du dispositif de soufflage sur l'objet emas,  
suivant la direction Y, afin de plaquer celui-ci contre  
une butée 93 du support d'irradiation 90,

5 d) ajustement proprement dit de la position  
du support d'irradiation 90 par rapport à la source 32  
et au détecteur associé 40, qui comporte les sous-  
opérations suivantes :

d-1) déplacement progressif du support  
10 d'irradiation 90 suivant la direction Z entre la  
position Z(1) prédéterminée et la position Z(N)  
prédéterminée,

d-2) pour chaque position Z(i),  
i = 1, ..., N, irradiation de l'objet étalon en masse  
15 volumique emas par le faisceau photonique, un nombre M  
de fois, ce qui conduit à un ensemble de valeurs  
d'intensité atténuée I(i, j), où i = 1, ..., N représente  
le nombre de positions successives Z(i) occupées par le  
support d'irradiation 90 et j = 1, ..., M représente le  
20 nombre d'irradiations effectuées à chaque position  
Z(i),

d-3) calcul de la position optimale  
Z<sub>opt</sub> du support d'irradiation 90 à partir d'une  
régression polynomiale d'ordre 4 des positions Z(i) par  
25 rapport aux intensités atténuées I(i, j), cette  
régression polynomiale d'ordre 4 étant prédéterminée et  
intégrée comme une donnée de l'unité 200 d'acquisition,  
de traitement et d'analyse,

e) transport retour de l'objet étalon en  
30 masse volumique emas sur le plateau tournant 70, par

une séquence d'opérations inverses aux sous-opérations c-1) à c-6) qui ont été détaillées ci-dessus.

A l'issue de l'étape 2 d'étalonnage de la position du support d'irradiation 90 de l'unité 30 de détermination par spectrométrie gamma de l'intensité du faisceau photonique atténuée par la traversée des objets 100 il est créé un deuxième fichier d'étalonnage qui comporte, notamment, la position optimale  $Z_{OPT}$  du support d'irradiation 90 suivant la direction Z.

L'étape 3 d'étalonnage de mesure de l'unité 30 de détermination par spectrométrie gamma comprend les opérations automatisées suivantes :

a) détermination de l'intensité photonique  $I_{emas}$  atténuée par la traversée d'un objet étalon en masse volumique emas pris comme référence,

b) calcul du coefficient massique d'atténuation  $\mu_m$  de l'objet étalon en masse volumique, et par suite de tous les objets du lot d'objets par la relation :

$$\rho_{emas} = -\frac{1}{\mu_m x_{emas}} \cdot L_n \frac{I_{emas}}{I_0}.$$

A l'issue de l'étape 3 d'étalonnage de mesure de l'unité 30 de détermination par spectrométrie gamma de l'intensité du faisceau photonique atténuée par la traversée des objets 100, il est créé un troisième fichier d'étalonnage qui comporte, notamment, l'intensité photonique  $I_{emas}$  atténuée par la traversée de l'objet étalon en masse volumique emas.

Les étapes de détermination proprement dites respectent elles aussi une chronologie pré-établie et concernent les opérations suivantes :

- étape 4 : détermination de la dimension significative x de l'objet 100 à contrôler,
- étape 5 : transport de l'objet 100 vers le support d'irradiation 90,
- 5       - étape 6 : ajustement de la position de l'objet 100 par ajustement de la position du support d'irradiation 90 par rapport à la source 32 et au détecteur associé 40,
- 10       - étape 7 : détermination de l'intensité atténuée I du faisceau photonique transmis à travers l'objet 100,
- étape 8 : acquisition, traitement et analyse du spectre obtenu,
- étape 9 : détermination de la variation  
15   relative  $\frac{\Delta\rho}{\rho}$  de masse volumique de l'objet 100 par rapport à celle d'un ou plusieurs objet(s) étalon(s) en masse volumique emas,
- étape 10 : transport retour de l'objet 100 jusqu'à son emplacement sur le plateau tournant 70.
- 20       L'étape 4 de détermination de la dimension significative x de l'objet 100 à contrôler est illustrée de façon synthétique à la figure 13. Elle comprend tout d'abord une saisie par l'opérateur d'un ensemble de paramètres d'entrée au moyen d'un module  
25   interactif. Ces paramètres comprennent :
  - la configuration des composants qui ont un déplacement micrométrique : vérins 76, 78, ce qui permet de gérer leur cinématique : position, vitesse, accélération,



- la configuration du plateau tournant 70, c'est-à-dire la nature des objets qui occupent les différents emplacements sur le plateau tournant 70 : objet quelconque 100, ou objet étalon en dimension edim, ou objet étalon en masse volumique emas, ou emplacement libre,

- l'emplacement occupé par l'objet 100 sur le plateau tournant 70, cet emplacement étant un nombre allant de 1 à 12 pour l'exemple illustré,

10 - la position  $Z_{\text{mesure}}$  suivant la direction Z du socle 26 de l'unité 2, qui correspond à une cote z sur l'objet 100 par rapport à la base de celui-ci,

- le nombre P de mesures infrarouges pour chaque objet étalon en dimension edim(n),  $n = 1, \dots, N$ ,  
15 où N est le nombre d'objets étalons en dimension,

- le nombre Q de mesures infrarouges pour l'objet 100.

L'étape 4 de détermination de la dimension significative x de l'objet 100 à contrôler utilise  
20 aussi les données contenues dans le premier fichier d'étalonnage issu de l'étape 1.

L'étape 4 de détermination de la dimension significative x de l'objet 100 à contrôler comprend ensuite les opérations automatisées suivantes :

25 a) déplacement du socle 26 suivant la direction Z jusqu'à la position  $Z_{\text{mesure}}$ , par actionnement du vérin 78,

b) déplacement du premier ensemble infrarouge 4, 6 suivant la direction Y, par  
30 actionnement du vérin 76, jusqu'à une position  $Y_{\text{mesure}}$  définie par :

$$Y_{\text{mesure}} = Y_{\text{OPT}} + (x_{\text{edim}} - x_{\text{edimMOY}})$$

où :

$Y_{\text{OPT}}$  est la position optimale provenant de l'étape 1 d'étalonnage, cette valeur étant contenue dans le premier fichier d'étalonnage,

$x_{\text{edim}}$  est la dimension de l'objet étalon en dimension edim utilisé lors de l'étape 1 d'étalonnage, cette valeur étant contenue dans le premier fichier d'étalonnage,

$x_{\text{edimMOY}}$  est la dimension significative moyenne de tous les objets edim étalons en dimension, cette valeur étant fournie par le fabricant,

c) mesure répétée P fois de la réponse infrarouge  $RI(p)$ ,  $p = 1, \dots, P$  des N objets étalons en dimension  $edim(n)$ ,  $n = 1, \dots, N$ , ce qui conduit à un ensemble de valeurs  $RI(n, p)$ ,

d) calcul proprement dit de la dimension significative x de l'objet 100 de la manière suivante :

$$d-1) \text{ calcul de la moyenne } RI_{\text{edimMOY}} = \frac{\sum RI(n, p)}{P}$$

des réponses infrarouges de chaque objet étalon en dimension  $edim(n)$  dont la dimension significative  $x_{\text{edim}}(n)$  est connue, et mise en œuvre d'une régression polynomiale d'ordre 4 des dimensions significatives  $x_{\text{edim}}(n)$  pour calculer les coefficients  $A_0, A_1, A_2, A_3, A_4$  d'une relation du type :

$$x_{\text{edim}}(n) = A_4 \cdot (RI_{\text{edimMOY}}(n))^4 + A_3 \cdot (RI_{\text{edimMOY}}(n))^3 + A_2 \cdot (RI_{\text{edimMOY}}(n))^2 + A_1 \cdot (RI_{\text{edimMOY}}(n))^1 + A_0,$$

d-2) mesure, répétée Q fois, de la réponse infrarouge  $RI(q)$ ,  $q = 1, \dots, Q$  de l'objet à contrôler

100, calcul de la moyenne  $RI = \frac{\sum RI(q)}{Q}$  de ces réponses infrarouges, et calcul de la dimension significative  $x$  recherchée de l'objet 100 par la relation :

$$x = A_4 \cdot (RI)^4 + A_3 \cdot (RI)^3 + A_2 \cdot (RI)^2 + A_1 \cdot (RI)^1 + A_0$$

5 L'étape 5 de transport de l'objet 100 à contrôler vers le support d'irradiation est une étape automatisée qui reprend la séquence des sous-opérations b) et c) de l'étape 2 d'étalonnage qui ont été détaillées ci-dessus.

10 L'étape 6 d'ajustement de la position de l'objet 100 par rapport à la source 32 et au détecteur associé 40 est une étape automatisée qui reprend la sous-opération d) de l'étape 2 d'étalonnage qui a été détaillée ci-dessus.

15 L'étape 7 de détermination de l'intensité photonique  $I$  du faisceau photonique, atténuée par la traversée de l'objet 100 consiste en une mesure d'activité, qui est ensuite acquise, traitée et interprétée de manière connue en soi.

20 L'étape 8 d'acquisition, de traitement et d'analyse du spectre obtenu est une étape automatisée qui met en œuvre des algorithmes de calculs connus en soi qui sont exécutés par le logiciel dédié implanté sur l'ordinateur 170 de l'unité 200 d'acquisition, de  
25 traitement et d'analyse.

L'étape 9 de détermination de la variation relative  $\frac{\Delta\rho}{\rho}$  de masse volumique de l'objet 100 par rapport à celle d'un ou plusieurs objet(s) étalon(s) en masse volumique  $\rho$  est illustrée de façon synthétique

à la figure 14. C'est une étape automatisée de calcul dans laquelle interviennent l'équation

$$\frac{\Delta\rho}{\rho} = \frac{x_{emas}}{x} \left[ 1 - \frac{L_n \frac{I}{I_{emas}}}{\mu_m \rho_{emas} x_{emas}} \right] \text{ et les données qui ont été}$$

déterminées aux différentes étapes précédentes.

5 L'étape 10 de transport retour de l'objet 100 sur son emplacement du plateau tournant 70 est une étape automatisée qui reprend la sous-opération e) de l'étape 2 d'étalonnage qui a été détaillée ci-dessus.

10 Le procédé qui vient d'être décrit est mis en œuvre au moyen d'un logiciel dédié. Ce logiciel comporte cinq modules indépendants, et un menu principal interactif, au moyen duquel un opérateur choisit de faire exécuter l'un des cinq modules. Les cinq modules regroupent les fonctions suivantes :

- 15 - premier module : détermination de la masse volumique d'un objet, qui recouvre l'étape 3 d'étalonnage et les étapes 4 à 10 de détermination proprement dite de la masse volumique,
- deuxième module : détermination de la
- 20 dimension significative d'un objet,
- troisième module : étalonnage de position de l'unité de détermination de dimension significative,
- quatrième module : étalonnage de position de l'unité de détermination de l'intensité photonique
- 25 atténuée,
- cinquième module : gestion des fichiers de données.

EXEMPLE

Le système et le procédé décrits précédemment ont été testés.

5 La source était une source de  $^{133}\text{Ba}$  de 10 mCi d'activité. La durée des acquisitions était de l'ordre de 20 minutes.

10 Les mesures ont été effectuées sur un lot de 7 pastilles d'oxyde d'uranium ( $\text{UO}_2$ ) dont les caractéristiques : diamètre, hauteur, masse volumique ou densité, apparaissent dans le tableau I :

N° pastille : i	1	2	3 (étalon)
Diamètre (mm)	8,165	8,143	8,166
Hauteur (mm)	11,54	11,44	11,27
Masse volumique (g.cm <sup>3</sup> )	10,260 ± 0.003	10,130 ± 0.003	9,900 ± 0.003
écart-type (g.cm <sup>3</sup> )	$1,99 \cdot 10^{-2}$	$1,98 \cdot 10^{-2}$	$1,96 \cdot 10^{-2}$

Tableau I

N° pastille : i	4	5	6	7
Diamètre (mm)	8,147	8,123	8,117	8,169
Hauteur (mm)	11,49	11,29	11,54	11,59
Masse volumique (g.cm <sup>3</sup> )	10,150 ± 0.003	9,950 ± 0.003	9,960 ± 0.003	10,070 ± 0.003
écart-type (g.cm <sup>3</sup> )	$1,98 \cdot 10^{-2}$	$1,95 \cdot 10^{-2}$	$1,93 \cdot 10^{-2}$	$1,97 \cdot 10^{-2}$

La pastille 3 est prise comme pastille étalon.

L'objectif des mesures est la détermination précise, au moyen du système et du procédé de l'invention, de la variation relative de masse volumique des pastilles (1,2,4,5,6 et 7) par rapport à la masse volumique de la pastille étalon (pastille 3). La relation suivante s'applique :

$$\frac{\Delta\rho}{\rho} = \frac{x}{x_i} \left[ 1 - \frac{\text{Ln}\left(\frac{I_i}{I}\right)}{\mu_m \rho x} \right] - 1$$

Les diamètres des pastilles supposées « inconnues » sont obtenus par l'étape de détermination de la dimension significative, ici le diamètre des pastilles, par rayonnement infrarouge.

Les résultats des comptages obtenus par spectrométrie gamma, pour chacune des six pastilles sont exposés dans le tableau II. Ils ont été obtenus en suivant scrupuleusement la chronologie du procédé présentée précédemment.

N° PASTILLE	I (en coups)	ECARTS DE MASSE VOLUMIQUE
1	974725 ± 1974	(3,448633 ± 0,017045) . 10 <sup>-2</sup>
2	1012550 ± 2012	(2,286541 ± 0,061460) . 10 <sup>-2</sup>
4	1009661 ± 2010	(2,344449 ± 0,016572) . 10 <sup>-2</sup>
5	1063886 ± 2063	(6,611105 ± 0,132441) . 10 <sup>-3</sup>
6	1067853 ± 2067	(5,941459 ± 0,122442) . 10 <sup>-3</sup>
7	1014895 ± 2015	(1,873675 ± 0,017101) . 10 <sup>-3</sup>

Tableau II

Les écarts types relatifs aux variations de masses volumiques mesurées ont été estimés par un calcul de propagation d'incertitudes. Le tableau III est un tableau comparatif de ces résultats avec les écarts théoriques fournis par le fabricant de pastilles.

N° Pastille	1	2	4
$[\Delta\rho/\rho]_{\text{théorique}}$	$3,63636 \cdot 10^{-2}$ $\pm 2,77 \cdot 10^{-3}$	$2,32323 \cdot 10^{-2}$ $\pm 2,78 \cdot 10^{-3}$	$2,52525 \cdot 10^{-2}$ $\pm 2,77 \cdot 10^{-3}$
$[\Delta\rho/\rho]_{\text{mesuré}}$	$3,44863 \cdot 10^{-2}$ $\pm 1,70 \cdot 10^{-4}$	$2,28654 \cdot 10^{-2}$ $\pm 1,65 \cdot 10^{-4}$	$2,34445 \cdot 10^{-2}$ $\pm 1,66 \cdot 10^{-4}$

10

Tableau III

N° Pastille	5	6	7
$[\Delta\rho/\rho]_{\text{théorique}}$	$5,0505 \cdot 10^{-3}$ $\pm 2,79 \cdot 10^{-4}$	$6,0606 \cdot 10^{-3}$ $\pm 2,77 \cdot 10^{-4}$	$1,71717 \cdot 10^{-2}$ $\pm 2,76 \cdot 10^{-3}$
$[\Delta\rho/\rho]_{\text{mesuré}}$	$6,611 \cdot 10^{-3}$ $\pm 1,32 \cdot 10^{-4}$	$5,9415 \cdot 10^{-3}$ $\pm 1,22 \cdot 10^{-4}$	$1,8737 \cdot 10^{-2}$ $\pm 1,71 \cdot 10^{-4}$

Tableau III (suite)

15

Ces résultats sont illustrés par le graphique de la figure 15. Les cercles représentent les valeurs de  $\frac{\Delta\rho}{\rho}$  résultants de la mesure, alors que les

croix représentent les valeurs de  $\frac{\Delta\rho}{\rho}$  fournis par le fabricant. L'intervalle matérialisé représente l'écart-type calculé à partir de données fournies par le fabricant.

- 5 Ces résultats montrent que le système et le procédé selon l'invention permettent de détecter une variation relative de masse volumique d'environ  $6.10^{-3}$  par rapport à la pastille choisie comme objet étalon.



## REVENDICATIONS

1. Système, pour la détermination automatique de la masse volumique d'un objet (100) appartenant à un lot d'objets, caractérisé en ce qu'il comprend :
- une unité (2) de détermination d'une dimension significative (x) dudit objet (100),
  - une unité (30) de détermination de l'intensité (I) d'un faisceau photonique, atténuée par la traversée dudit objet (100),
  - une unité d'acquisition, de traitement et d'analyse (200),
  - des moyens de transport (70, 72, 80, 82, 84, 86, 88) de l'objet (100) vers l'unité (2) de détermination de sa dimension significative (x) et vers l'unité (30) de détermination de l'intensité photonique atténuée,
  - des premiers moyens d'ajustement (74, 76, 78) de la position de l'objet (100) relativement à l'unité de détermination de sa dimension significative (x), et
  - des deuxièmes moyens d'ajustement (90, 92, 94, 96, 98) de la position de l'objet (100) relativement à l'unité (30) de détermination de l'intensité photonique atténuée,
- en ce que lesdits premiers moyens d'ajustement et deuxièmes moyens d'ajustement sont capables de déplacer l'objet (100) avec une précision de l'ordre du micron par rapport à une plaque de

support (150) sur laquelle sont installés les éléments constitutifs du système,

et en ce que la position de l'objet (100) relativement à l'unité (30) de détermination de l'intensité atténuée (I) est ajustée en fonction de la dimension significative (x) dudit objet (100).

2. Système selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'unité (200) d'acquisition, de traitement et d'analyse comprend un ordinateur (170) dans lequel est implanté un logiciel dédié qui exécute des séries d'instructions et des algorithmes de calcul automatique de la masse volumique de l'objet (100).

3. Système selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce que l'unité (200) d'acquisition, de traitement et d'analyse fournit la variation relative

$\left(\frac{\Delta\rho}{\rho}\right)$  de la masse volumique ( $\rho$ ) de l'objet (100) par rapport à celle, connue, d'au moins un objet étalon (emas) appartenant au même lot d'objets (100).

4. Système selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que l'unité (2) de détermination de la dimension significative de l'objet (100) comprend :

- un premier ensemble infrarouge (4, 6) constitué d'un premier émetteur infrarouge (4) et d'un premier récepteur infrarouge (6),

- un deuxième ensemble (8, 10) constitué d'un deuxième émetteur infrarouge (8) et d'un deuxième récepteur infrarouge (10),

les deux ensembles infrarouges (4, 6 ; 8, 10) étant éloignés l'un de l'autre d'une distance connue (d), et

émettant des faisceaux infrarouges qui sont parallèles entre eux,

et la dimension significative (x) de l'objet (100) étant déduite de la réponse infrarouge obtenue lorsque l'objet (100) est déplacé de manière à intercepter successivement le premier faisceau et le deuxième faisceau infrarouges, selon une direction sensiblement perpendiculaire à celle des axes (12, 14) des deux faisceaux, ladite réponse infrarouge correspondant à la fraction (24) du deuxième faisceau non encore interceptée par l'objet (100) lorsqu'il intercepte encore la moitié (22) du premier faisceau.

5. Système selon la revendication 4, caractérisé en ce que l'unité (2) de détermination comprend en outre un troisième ensemble (16, 18) émetteur-récepteur photoélectrique, disposé en amont du premier ensemble infrarouge (4, 6) par rapport au deuxième ensemble infrarouge (8, 10), et destiné à l'ajustement préalable de l'intensité des deux faisceaux infrarouges.

6. Système selon la revendication 4 ou 5, caractérisé en ce que la dimension significative (x) de l'objet (100) est obtenue après avoir fait déplacer ledit objet QN fois et mesuré Q réponses infrarouges RI(q), pour q compris entre 1 et Q, par une relation du type :

$$x = A_4 \cdot (\text{moyenne RI}(q))^4 + A_3 \cdot (\text{moyenne RI}(q))^3 + A_2 \cdot (\text{moyenne RI}(q))^2 + A_1 \cdot (\text{moyenne RI}(q))^1 + A_0 ,$$

où :

30  $A_0, A_1, A_2, A_3, A_4$  sont des coefficients obtenus précédemment en appliquant la même relation à

au moins quatre objets étalons en dimension (edim), pour lesquels une réponse infrarouge RI(edim) est mesurée.

7. Système selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, caractérisé en ce que l'unité (30) de détermination de l'intensité atténuée d'un faisceau photonique est une unité de détermination par spectrométrie gamma, qui comprend :

- un ensemble (32) formé d'une source et d'un collimateur,
- un ensemble (40) formé d'un détecteur et d'un collimateur,
- une chaîne d'acquisition et de comptage des photons gamma (48).

8. Système selon la revendication 7, caractérisé en ce que la chaîne d'acquisition et de comptage (48) comprend :

- un détecteur à germanium de haute densité,
- un préamplificateur (50),
- un module DSP (Digital Signal Processor) (52),
- un module haute tension (54),
- un module réseau (56),
- un ordinateur d'acquisition de données (170),
- un cryostat (60).

9. Système selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, caractérisé en ce que les moyens de transport (70, 72, 80, 82, 84, 86, 88) comprennent

un plateau tournant (70) et un moteur pas à pas (72) d'entraînement dudit plateau (70).

10. Système selon l'une quelconque des revendications 1 à 9, caractérisé en ce que les moyens  
5 de transport comprennent un bras de manutention (80).

11. Système selon la revendication 10, caractérisé en ce que le bras de manutention (80) est un bras articulé équipé d'une pince d'extrémité (82) destinée à saisir et déposer l'objet (100).

12. Système selon l'une quelconque des revendications 3 à 11, caractérisé en ce que les premiers moyens d'ajustement comprennent :

- une glissière (74) pour fixer la position d'un socle (26) de l'unité (2) de détermination de la  
15 dimension significative de l'objet selon une direction X.

- un vérin (76) pour déplacer le premier ensemble infrarouge (4, 6) par rapport le deuxième ensemble infrarouge (8, 10) de ladite unité (2) selon  
20 une direction Y perpendiculaire à la direction Y.

- un vérin (78) pour déplacer ledit socle (26) de ladite unité (2) selon une direction Z perpendiculaire au plan (X, Y).

13. Système selon l'une quelconque des revendications 1 à 12, caractérisé en ce que les  
25 deuxièmes moyens d'ajustement comprennent un support d'irradiation (90) sur lequel est installé l'objet (100) entre une source (32) et un détecteur (40) de l'unité (30) de détermination de l'intensité atténuée  
30 du faisceau photonique traversant l'objet (100).

14. Système selon la revendication 13, caractérisé en ce que les deuxièmes moyens d'ajustement comprennent :

- une glissière (94) pour fixer un support  
5 d'irradiation (90) selon une direction X,

- un vérin (96) pour déplacer, selon une direction Y perpendiculaire à la direction X, ledit support d'irradiation (90) entre une source (32) et un détecteur (40) de l'unité (30) de détermination de  
10 l'intensité atténuée du faisceau photonique traversant l'objet (100),

- un vérin (98) pour déplacer, selon une direction Z perpendiculaire au plan (X, Y), ledit support d'irradiation (90) entre une source (32) et un  
15 détecteur (40) de l'unité (30) de détermination de l'intensité atténuée du faisceau photonique traversant l'objet (100).

15. Procédé de mise en œuvre du système pour la détermination automatique de la masse volumique  
20 d'un objet (100) appartenant à un lot d'objets selon l'une quelconque des revendications 1 à 14, ledit système comportant une unité (2) de détermination d'une dimension significative (x) d'un objet (100) et une  
25 unité (300) de détermination de l'intensité (I) d'un faisceau photonique atténué par la traversée dudit objet (100), caractérisé en ce qu'il comprend les étapes d'étalonnage suivantes :

- une étape 1 d'étalonnage de position de deux ensembles infrarouges (4, 6 ; 8, 10) de l'unité  
30 (2) de détermination de la dimension significative des objets (100),

- une étape 2 d'étalonnage de position d'un support d'irradiation (90) de l'unité (30) de détermination par spectrométrie gamma de l'intensité du faisceau photonique atténuée par la traversée des  
5 objets (100),

- une étape 3 d'étalonnage de mesure de l'ensemble source-détecteur (32, 40) de l'unité (30),

et en ce qu'il comprend des étapes de détermination proprement dite de la dimension  
10 significative (x) des objets (100), qui sont effectuées sur chaque objet (100) dudit lot d'objets.

16. Procédé selon la revendication 15, caractérisé en ce que l'étape 1 d'étalonnage comporte une saisie par l'opérateur d'un ensemble de paramètres  
15 d'entrée au moyen d'un module interactif, parmi lesquels :

- la configuration de composants qui ont un déplacement micrométrique, parmi lesquels deux vérins  
20 (76, 78),

- la configuration du plateau tournant (70), c'est-à-dire la nature des objets qui occupent différents emplacements prévus sur celui-ci,

- l'emplacement occupé par chaque objet étalon en dimension (edim) sur le plateau tournant  
25 (70),

- une position ( $Z_{\text{mesure}}$ ) d'un socle (26) de l'unité (2) suivant la direction Z,

- des positions (Y(1), Y(N)) bornant un intervalle de déplacement du premier ensemble  
30 infrarouge (4, 6) suivant la direction Y,

- un pas (INT) de déplacement du premier ensemble infrarouge (4, 6) suivant la direction Y.

17. Procédé selon la revendication 16, caractérisé en ce que l'étape 1 d'étalonnage comporte en outre les opérations suivantes :

a) déplacement du socle (26) suivant la direction Z jusqu'à la position ( $Z_{\text{mesure}}$ ),

b) déplacement angulaire du plateau tournant (70) afin de transporter un objet étalon en dimension ( $e_{\text{dim}}$ ) jusqu'à sa position initiale de mesure par rapport à l'unité (2),

c) déplacement du premier ensemble infrarouge (4, 6) suivant la direction Y jusqu'à sa position de départ ( $Y(1)$ ),

d) déplacement progressif, par incréments successifs de (INT), du premier ensemble infrarouge (4, 6) suivant la direction Y, en l'éloignant du deuxième ensemble infrarouge (8, 10) fixé à une position  $Y_{\text{FIX}}$ , entre les positions  $Y(1)$  et  $Y(N)$ , et détermination simultanée de la réponse infrarouge ( $RI(n)$ ) de l'objet ( $e_{\text{dim}}$ ), correspondant à chaque position ( $Y(n)$ )

e) calcul de la réponse infrarouge optimale  $RI_{\text{OPT}}$ ,

f) calcul de la position optimale  $Y_{\text{OPT}}$  du premier ensemble infrarouge (4, 6) par rapport au deuxième ensemble infrarouge (8, 10).

18. Procédé selon la revendication 17, caractérisé en ce que l'opération d) de déplacement progressif comporte les sous-opérations suivantes :

d-1) déplacement angulaire du plateau tournant (70) afin de transporter l'objet



étalon en dimension (edim) à sa position finale de mesure,

d-2) mesure de la réponse infrarouge (RI(n)) dudit objet étalon en dimension (edim),

5 d-3) déplacement angulaire du plateau tournant (70) afin de ramener l'objet étalon en dimension (edim) à sa position initiale de mesure.

19. Procédé selon la revendication 17 ou 18, caractérisé en ce que la réponse infrarouge optimale RI<sub>OPT</sub> est obtenue par la relation :

$$RI_{OPT} = \frac{RI_{MAX} - RI_{MIN}}{2}$$

où : RI<sub>MIN</sub> est la valeur de la saturation minimale de la réponse infrarouge ,

15 et : RI<sub>MAX</sub> est la valeur de la saturation maximale de la réponse infrarouge.

20. Procédé selon l'une quelconque des revendications 17 à 19, caractérisé en ce que l'opération f) de calcul de la position optimale Y<sub>OPT</sub> est obtenue de la manière suivante :

20 si  $\frac{RI_{OPT} - RI(j)}{RI_{OPT} - RI(k)} < 1$  , alors Y<sub>OPT</sub> = Y(j)

si  $\frac{RI_{OPT} - RI(j)}{RI_{OPT} - RI(k)} > 1$  , alors Y<sub>OPT</sub> = Y(k)

25 où RI(j) et RI(k) sont deux valeurs précédemment calculées de la réponse infrarouge entre lesquelles est comprise la réponse optimale recherchée RI<sub>OPT</sub>, qui correspondent respectivement à deux positions Y(j) et Y(k) du premier ensemble infrarouge (4, 6).

21. Procédé selon l'une quelconque des revendications 15 à 20, caractérisé en ce que l'étape 2

d'étalonnage comporte une saisie par l'opérateur d'un ensemble de paramètres d'entrée au moyen d'un module interactif, parmi lesquels :

- la configuration de composants qui ont un déplacement micrométrique, parmi lesquels deux vérins (96, 98),
- la configuration du plateau tournant (70), c'est-à-dire la nature des objets qui occupent différents emplacements sur celui-ci,
- l'emplacement occupé par chaque objet étalon en masse volumique (emas) sur le plateau tournant (70),
- une durée de mesure ou temps de comptage,
- des positions  $Z(1)$  et  $Z(N)$  bornant un intervalle de déplacement d'un support d'irradiation (90) suivant la direction  $Z$ ,
- un nombre  $M$  de mesures de l'intensité photonique atténuée par la traversée de chaque objet étalon en masse volumique, pour chaque position  $Z(i)$  occupée par le support d'irradiation, pour  $i = 1, \dots, N$ .

22. Procédé selon la revendication 21, caractérisé en ce que l'étape 2 d'étalonnage comporte en outre les opérations suivantes :

- a) détermination de la dimension significative ( $x_{mas}$ ) de chaque objet étalon en masse volumique (emas),
- b) déplacement angulaire du plateau tournant (70), d'un angle ( $A$ ), afin de transporter ledit objet étalon en masse volumique (emas) en une position intermédiaire où il est saisi par un bras de préhension (80),

c) positionnement dudit objet (emas) sur un support d'irradiation (90),

d) ajustement proprement dit de la position du support d'irradiation (90) par rapport à une source  
5 (32) et un détecteur associé (40),

e) transport retour de l'objet étalon en masse volumique (emas) sur le plateau tournant (70), par une opération inverse à l'opération c).

23. Procédé selon la revendications 22,  
10 caractérisé en ce que l'opération c) de positionnement de l'objet (emas) sur le support d'irradiation (90) comporte les sous-opérations suivantes :

c-1) déplacement du support d'irradiation (90), suivant la direction Z et vers le bas,

15 c-2) déplacement du bras de préhension (80) depuis sa position d'attente jusqu'à la verticale de la position intermédiaire de l'objet (emas),

c-3) saisie, par le bras de préhension (80), de l'objet emas, et transport de celui-ci jusqu'à  
20 la verticale d'une face supérieure (92) du support d'irradiation (90),

c-4) déplacement du support d'irradiation 90 jusqu'à la position Z(1), suivant la direction Z et vers le haut,

25 c-5) dépose de l'objet (emas) sur la face supérieure (92) du support d'irradiation (90), par le bras de manutention 80,

c-6) déplacement retour du bras de manutention (80) jusqu'à sa position d'attente,

30 c-7) mise en butée, suivant la direction Y, de l'objet (emas) sur la face supérieure (92).

24. Procédé selon la revendications 22 ou 23, caractérisé en ce que l'opération d) d'ajustement proprement dit de la position du support d'irradiation (90) par rapport à la source (32) et au détecteur associé (40) comporte les sous-opérations suivantes :

d-1) déplacement progressif du support d'irradiation (90) suivant la direction Z entre deux positions  $Z(1)$  et  $Z(N)$  prédéterminées,

d-2) pour chaque position  $Z(i)$ ,  $i = 1, \dots, N$ , irradiation de l'objet étalon en masse volumique ( $\text{emas}$ ) par le faisceau photonique, un nombre  $M$  de fois, ce qui conduit à un ensemble de valeurs d'intensité atténuée  $I(i, j)$ , où  $i = 1, \dots, N$  représente le nombre de positions successives  $Z(i)$  occupées par le support d'irradiation (90) et  $j = 1, \dots, M$  représente le nombre d'irradiations effectuées à chaque position  $Z(i)$ ,

d-3) calcul de la position optimale ( $Z_{\text{OPT}}$ ) du support d'irradiation (90) à partir d'une régression polynomiale d'ordre 4 des positions  $Z(i)$  par rapport aux intensités atténuées  $I(i, j)$ , cette régression polynomiale d'ordre 4 étant prédéterminée et intégrée comme une donnée d'une unité (200) d'acquisition, de traitement et d'analyse.

25. Procédé selon l'une quelconque des revendications 15 à 24, caractérisé en ce que l'étape 3 d'étalonnage de l'unité 30 de détermination par spectrométrie gamme comprend les opérations automatisées suivantes :

a) mesure de l'intensité photonique ( $I_{\text{emas}}$ ) atténuée par la traversée d'un objet étalon en masse volumique ( $\text{emas}$ )

b) calcul du coefficient massique d'atténuation ( $\mu_m$ ) de l'objet étalon en masse volumique, par la relation :  $\rho_{emas} = -\frac{1}{\mu_m X_{emas}} \cdot L_n \frac{I_{emas}}{I_0}$

26. Procédé selon l'une quelconque des  
5 revendications 15 à 25, caractérisé en ce que les étapes de détermination proprement dite comprennent :

- une étape 4 de détermination de la dimension significative (x) de l'objet (100) à contrôler,
- 10 - une étape 5 de transport de l'objet (100) vers un support d'irradiation (90),
- une étape 6 d'ajustement de la position de l'objet (100) par ajustement de la position du support d'irradiation (90) par rapport à une source  
15 (32) et un détecteur associé (40),
- une étape 7 de détermination de l'intensité atténuée (I) du faisceau photonique transmis à travers l'objet (100),
- une étape 8 d'acquisition, traitement et  
20 analyse du spectre obtenu,
- une étape 9 de détermination de la variation relative  $\frac{\Delta\rho}{\rho}$  de masse volumique ( $\rho$ ) de l'objet (100) par rapport à celle d'un ou plusieurs objet(s) étalon(s) en masse volumique (emas),
- 25 - une étape 10 de transport retour de l'objet (100) jusqu'à son emplacement sur le plateau tournant (70).

27. Procédé selon la revendication 26, caractérisé en ce que l'étape 4 de détermination de la

dimension significative (x) de l'objet (100) à contrôler comporte une saisie par l'opérateur d'un ensemble de paramètres d'entrée au moyen d'un module interactif, parmi lesquels :

- 5                   - la configuration d'un plateau tournant (70), c'est-à-dire la nature des objets qui occupent différents emplacements sur celui-ci,
- l'emplacement occupé par l'objet (100) sur le plateau tournant (70),
- 10               - une position ( $Z_{\text{mesure}}$ ) suivant la direction Z du socle (26) de l'unité (2),
- un nombre P de mesures infrarouges pour chaque objet étalon en dimension ( $\text{edim}(n)$ ),  $n = 1, \dots, N$ , où N est le nombre d'objets étalons en dimension,
- 15               - un nombre Q de mesures infrarouges pour l'objet (100).

28. Procédé selon la revendication 27, caractérisé en ce que l'étape 4 de détermination de la dimension significative (x) de l'objet (100) à

20 contrôler comporte en outre les opérations suivantes :

- a) déplacement d'un socle (26) de l'unité (2) suivant la direction Z jusqu'à la position ( $Z_{\text{mesure}}$ ),
- b) déplacement d'un premier ensemble infrarouge (4, 6) suivant la direction Y, jusqu'à une
- 25 position ( $Y_{\text{mesure}}$ ) définie par :  $Y_{\text{mesure}} = Y_{\text{OPT}} + (x_{\text{edim}} - x_{\text{edimMOY}})$ , où :

$Y_{\text{OPT}}$  est la position optimale provenant de l'étape 1 d'étalonnage,

$x_{\text{edim}}$  est la dimension de l'objet étalon en

30 dimension ( $\text{edim}$ ) utilisé lors de l'étape 1 d'étalonnage,

$x_{\text{edimMOY}}$  est la dimension significative moyenne de tous les objets (edim) étalons en dimension,

c) mesure répétée P fois de la réponse infrarouge  $RI(p)$ ,  $p = 1, \dots, P$  des N objets étalons en dimension (edim(n)),  $n = 1, \dots, N$ , ce qui conduit à un ensemble de valeurs  $RI(n, p)$ ,

d) calcul proprement dit de la dimension significative de l'objet (100).

29. Procédé selon la revendication 28, caractérisé en ce que l'opération d) de calcul proprement dit de la dimension significative (x) de l'objet (100) est effectuée de la manière suivante :

d-1) mise en œuvre d'une régression polynomiale d'ordre 4 des dimensions significatives  $x_{\text{edim}}(n)$  de chacun des N objets étalons en dimension edim(n), en fonction de la moyenne des réponses

infrarouges  $RI_{\text{edimMOY}} = \frac{\sum RI(n, p)}{P}$  dudit objet étalon en dimension edim(n), pour calculer les coefficients  $A_0, A_1, A_2, A_3, A_4$  d'une relation du type :

$$x_{\text{edim}}(n) = A_4 \cdot (RI_{\text{edimMOY}}(n))^4 + A_3 \cdot (RI_{\text{edimMOY}}(n))^3 + A_2 \cdot (RI_{\text{edimMOY}}(n))^2 + A_1 \cdot (RI_{\text{edimMOY}}(n))^1 + A_0,$$

d-2) mesure répétée Q fois de la réponse infrarouge  $RI(q)$ ,  $q = 1, \dots, Q$  de l'objet à contrôler 100, calcul de la moyenne  $RI = \frac{\sum RI(q)}{Q}$  de ces réponses

infrarouges, et calcul de la dimension significative x de l'objet 100 par la relation :

$$x = A_4 \cdot (RI)^4 + A_3 \cdot (RI)^3 + A_2 \cdot (RI)^2 + A_1 \cdot (RI)^1 + A_0$$

30. Utilisation du système selon l'une quelconque des revendications 1 à 14 et du procédé

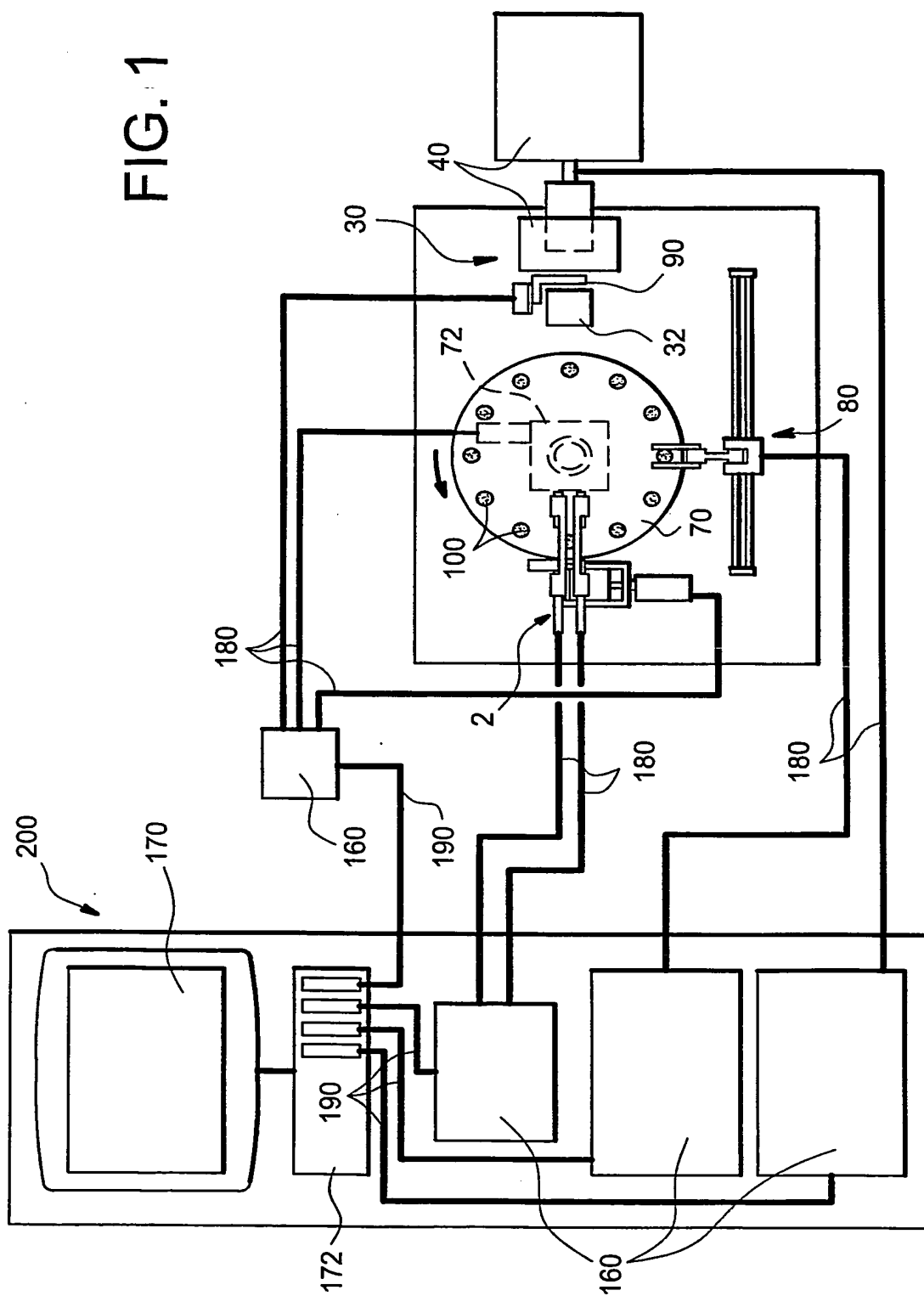
selon l'une quelconque des revendications 15 à 29, pour le contrôle d'objets (100) en cours de fabrication.

31. Utilisation selon la revendication 30, dans laquelle les objets (100) sont des pastilles de combustible nucléaire.



1/12

FIG. 1



**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

2/12

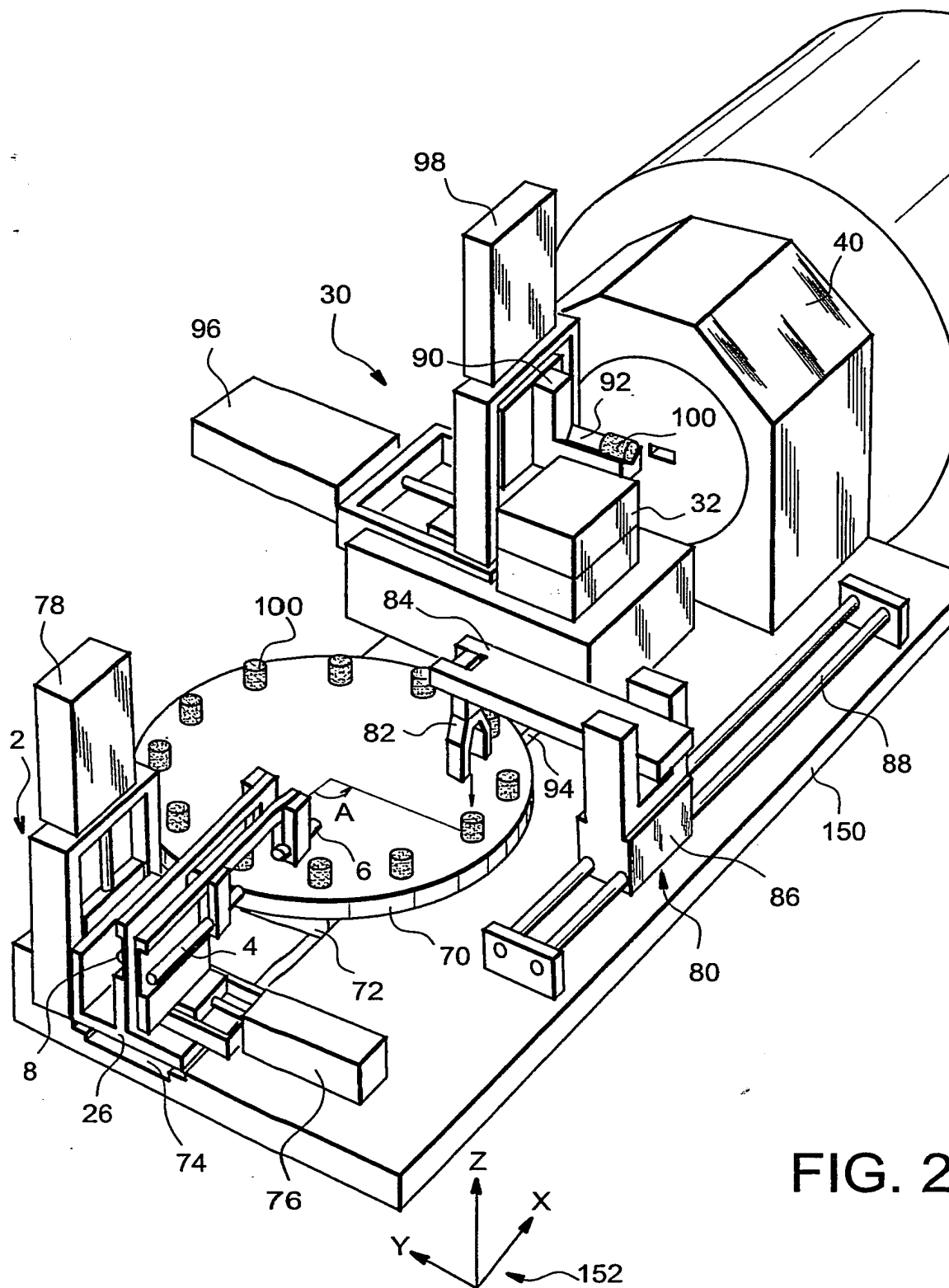
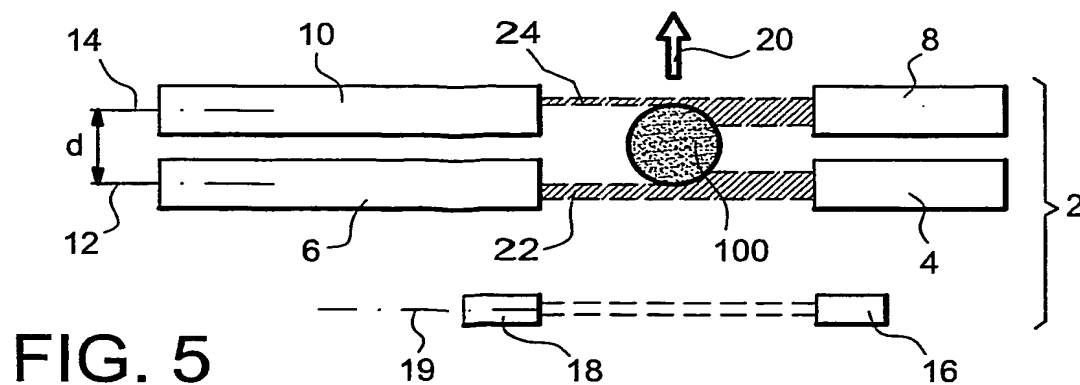
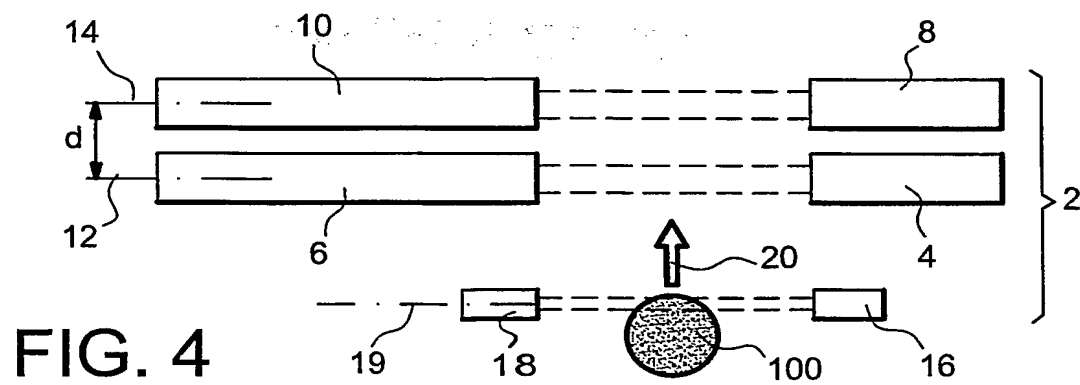
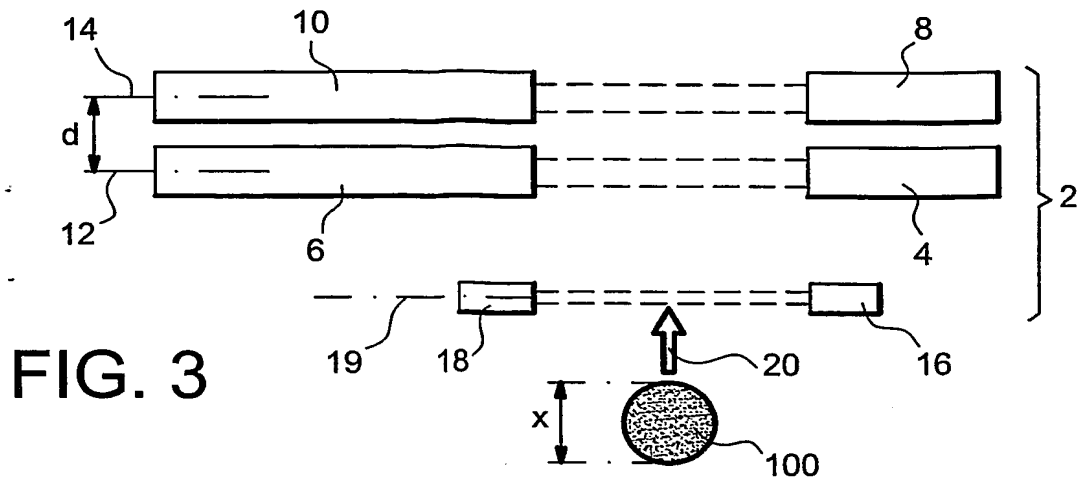


FIG. 2

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

3/12



THIS PAGE BLANK (USPTO)

4/12

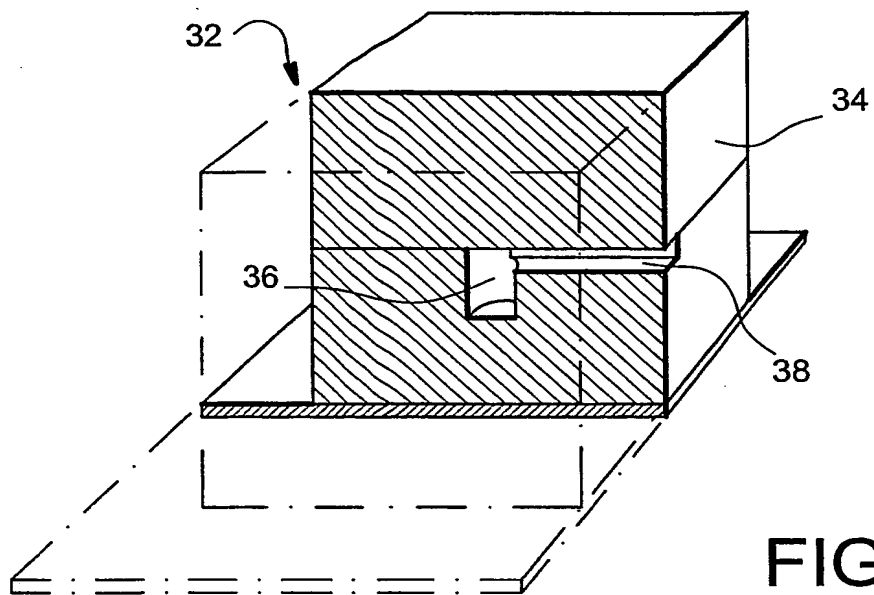


FIG. 6

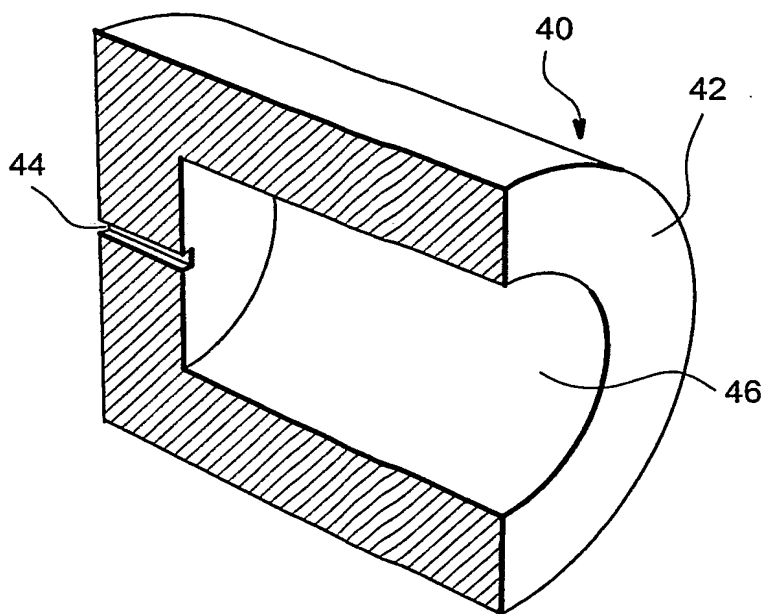


FIG. 7

THIS PAGE IS BLANK (ISPTO)



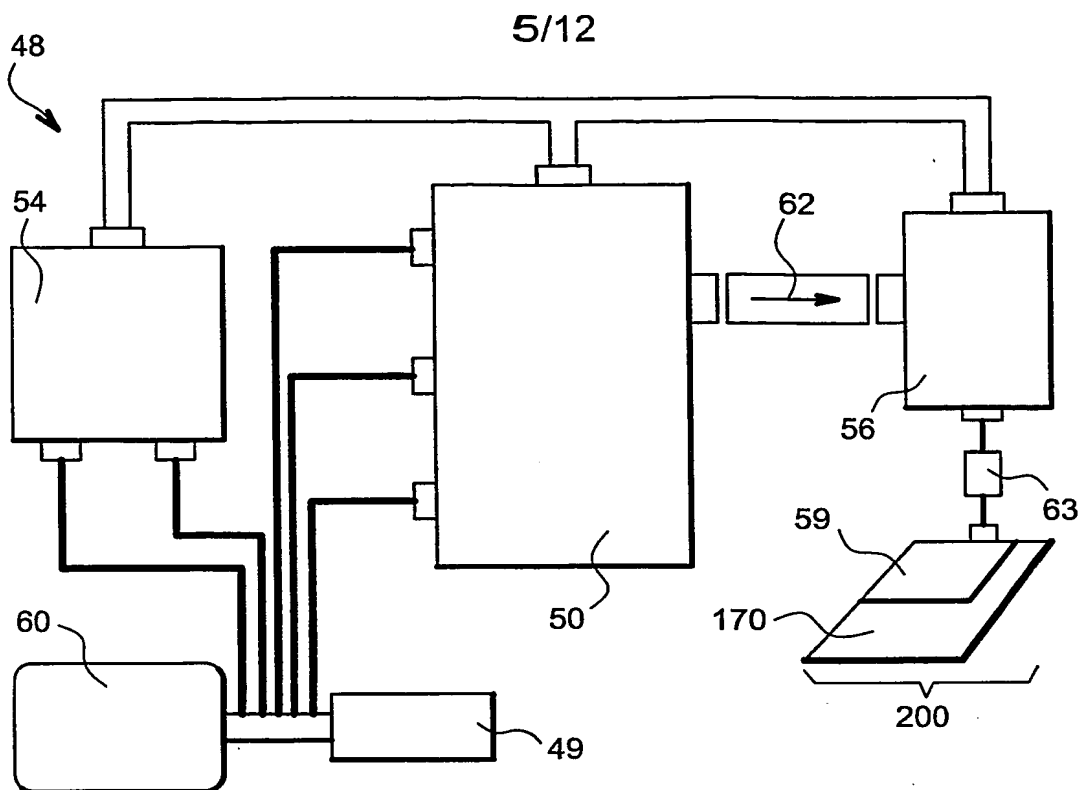


FIG. 8

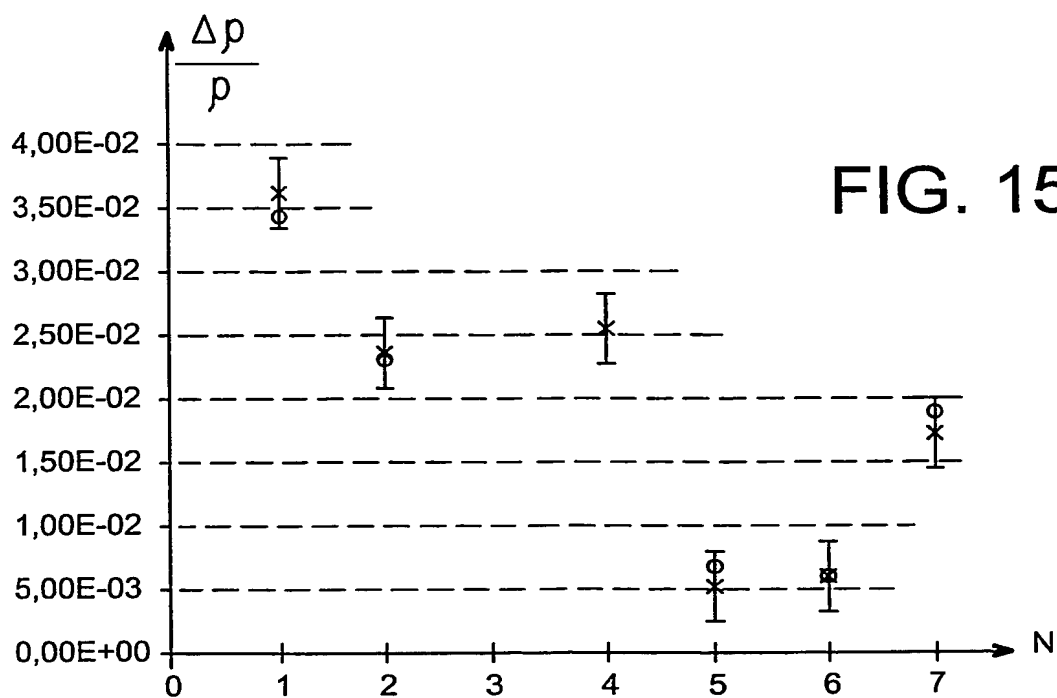


FIG. 15

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

### ETALONNAGES PREALABLES

#### Etape 1

étalonnage de position des deux ensembles infrarouges de l'unité de détermination de la dimension significative de l'objet

#### Etape 2

étalonnage de position du support d'irradiation de l'unité de détermination de l'intensité du faisceau photonique atténuée par la traversée de l'objet

#### Etape 3

étalonnage de mesure de l'ensemble source-détecteur de l'unité de détermination de l'intensité du faisceau photonique atténuée par la traversée de l'objet

FIG. 9A

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

7/12

DETERMINATION PROPREMENT DITE  
DE LA VARIATION RELATIVE DE MASSE VOLUMIQUE

Etape 4

détermination de la dimension significative de l'objet à contrôler

Etape 5

transport de l'objet vers le support d'irradiation

Etape 6

ajustement de la position de l'objet par ajustement de la position du support d'irradiation par rapport à une source et un détecteur associé

Etape 7

détermination de l'intensité atténuée du faisceau photonique transmis à travers l'objet

Etape 8

acquisition, traitement et analyse du spectre obtenu

Etape 9

détermination de la variation relative de masse volumique de l'objet par rapport à celle d'un ou plusieurs objet(s) étalon(s) en masse volumique

Etape 10

transport retour de l'objet jusqu'à son emplacement sur le plateau tournant

FIG. 9B

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

8/12

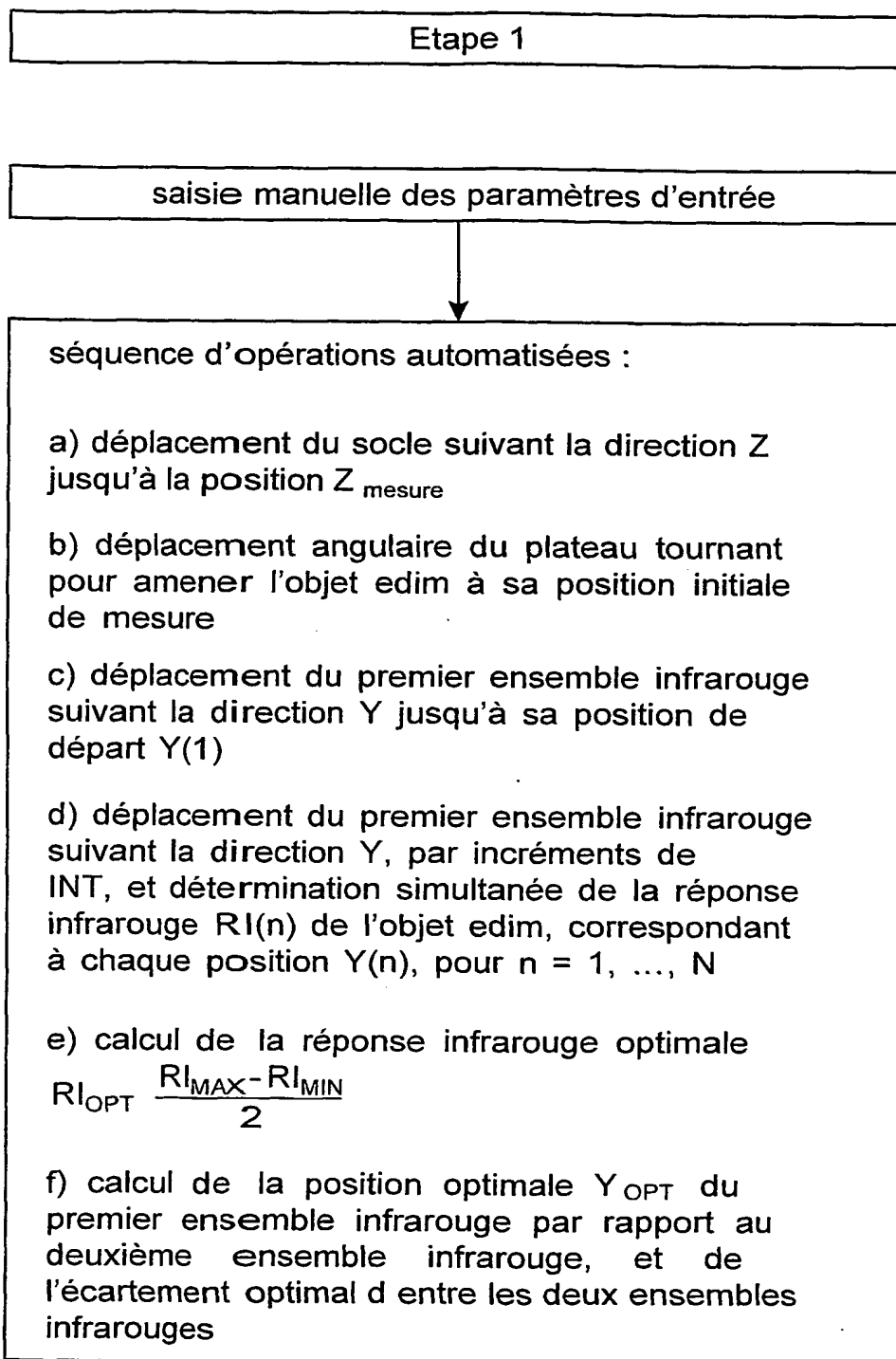


FIG. 10

THIS PAGE BLANK (USPTO)



9/12

Etape 2

saisie manuelle des paramètres d'entrée

séquence d'opérations automatisées :

a) mesure de la dimension significative  $x_{emas}$  de l'objet étalon en masse volumique

b) déplacement angulaire du plateau tournant, pour amener l'objet étalon en masse volumique  $emas$  en une position intermédiaire où il est saisi par le bras de préhension,

c) positionnement de l'objet  $emas$  sur le support d'irradiation

d) ajustement proprement dit de la position du support d'irradiation par rapport à l'ensemble source-détecteur :

d-1) déplacement progressif du support d'irradiation suivant la direction Z entre les positions Z(1) et Z(N) prédéterminées

d-2) pour chaque position Z(i), irradiation M fois de l'objet  $emas$  par le faisceau photonique, et obtention des valeurs d'intensité atténuée I(i, j)

i = 1, ..., N = nombre de positions Z(i) entre Z(1) et Z(N)

j = 1, ..., M = nombre d'irradiations pour chaque position Z(i)

d-3) calcul de la position optimale  $Z_{OPT}$  du support d'irradiation à partir des positions Z(i) et des intensités atténuées I(i, j)

e) transport retour de l'objet  $emas$  sur le plateau tournant

FIG. 11

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

10/12

## Etape 3

a) mesure de l'intensité photonique  $I_{\text{emas}}$  atténuée par la traversée d'un objet étalon en masse volumique emas pris comme référence

b) calcul du coefficient massique d'atténuation  $\mu_m$  de l'objet étalon en masse volumique par la relation :

$$\rho_{\text{emas}} = - \frac{1}{\mu_m X_{\text{emas}}} \cdot \ln \frac{I_{\text{emas}}}{I_0}$$

FIG. 12

THIS PAGE BLANK (USPTO)

11/12

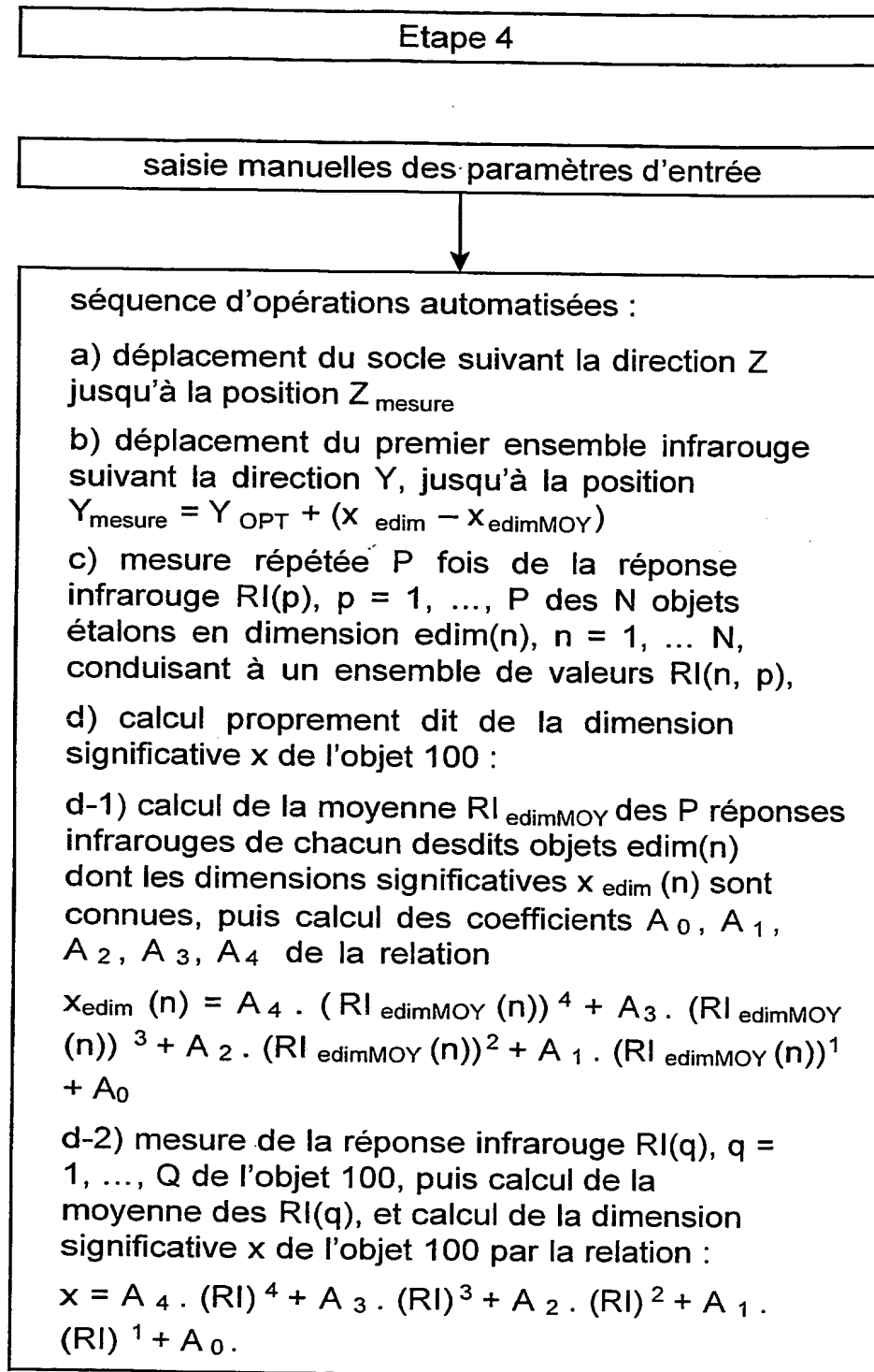


FIG. 13

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

12/12

## Etape 9

calcul automatisé de la variation relative  $\frac{\Delta\rho}{\rho}$   
de masse volumique de l'objet 100 par rapport à  
celle d'un ou plusieurs objet(s) étalon(s) en  
masse volumique  $\rho_{\text{emas}}$  à partir de la relation:

$$\frac{\Delta\rho}{\rho} = \frac{x_{\text{emas}}}{x} \left[ 1 - \frac{L_n \frac{I}{I_{\text{emas}}}}{\mu_m \rho_{\text{emas}} x_{\text{emas}}} \right]$$

FIG. 14

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

onal Application No

PCT/FR2005/000838

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 7 G01N9/24 G21C17/06

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 G21C G01N

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ, COMPENDEX, INSPEC

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category °	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	DE 197 10 835 A (BOSCH GMBH ROBERT) 17 September 1998 (1998-09-17) column 1, line 5 - line 30 column 1, line 44 - line 65 column 2, line 7 - line 19 column 2, line 61 - column 3, line 68 figure 1	1-31
A	US 4 193 502 A (MARMO ANTHONY R) 18 March 1980 (1980-03-18) column 2, line 29 - line 40 column 2, line 58 - column 3, line 48 figures 1,2  ----- -/--	1-31

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

° Special categories of cited documents :

- \*A\* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- \*E\* earlier document but published on or after the international filing date
- \*L\* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- \*O\* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- \*P\* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- \*T\* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- \*X\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- \*Y\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- \*&\* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

23 August 2005

Date of mailing of the international search report

31/08/2005

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Timonen, T

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

onal Application No  
PCT/FR2005/000838

## C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 6 151 379 A (KULLENBERG RAGNAR ET AL) 21 November 2000 (2000-11-21) column 2, line 16 - column 3, line 11 column 4, line 17 - line 56 figures 1,2 -----	1-31
A	FWA T F ET AL: "EXPERIMENTAL EVALUATION OF A LABORATORY TWIN-PROBE NUCLEAR GAGE FOR SPECIMEN DENSITY MEASUREMENT" JOURNAL OF TESTING AND EVALUATION, AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. PHILADELPHIA, US, vol. 20, no. 1, January 1992 (1992-01), pages 59-65, XP000310735 ISSN: 0090-3973 the whole document -----	1-31
A	FR 2 798 463 A (FRANCO BELGE COMBUSTIBLES) 16 March 2001 (2001-03-16) the whole document -----	1-31

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

In ional Application No  
PCT/FR2005/000838

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
DE 19710835	A	17-09-1998	DE 19710835 A1	17-09-1998
US 4193502	A	18-03-1980	BE 866563 A1	30-10-1978
			CA 1089644 A1	18-11-1980
			DE 2816141 A1	02-11-1978
			ES 469006 A1	16-05-1979
			FR 2389096 A1	24-11-1978
			GB 1569739 A	18-06-1980
			IT 1095335 B	10-08-1985
			JP 53140062 A	06-12-1978
			JP 60102658 U	12-07-1985
US 6151379	A	21-11-2000	SE 508184 C2	07-09-1998
			AU 711955 B2	28-10-1999
			AU 2186397 A	10-10-1997
			BR 9708225 A	27-07-1999
			CA 2250267 A1	25-09-1997
			EP 0958492 A1	24-11-1999
			JP 2000509141 T	18-07-2000
			NO 984362 A	19-11-1998
			NZ 331948 A	28-01-2000
			RU 2182703 C2	20-05-2002
			SE 9601083 A	22-09-1997
			WO 9735175 A1	25-09-1997
FR 2798463	A	16-03-2001	FR 2798463 A1	16-03-2001

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

D. le Internationale No  
PCT/FR2005/000838

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE  
CIB 7 G01N9/24 G21C17/06

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

## B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)

CIB 7 G21C G01N

Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche

Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si réalisable, termes de recherche utilisés)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ, COMPENDEX, INSPEC

## C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie °	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	DE 197 10 835 A (BOSCH GMBH ROBERT) 17 septembre 1998 (1998-09-17) colonne 1, ligne 5 - ligne 30 colonne 1, ligne 44 - ligne 65 colonne 2, ligne 7 - ligne 19 colonne 2, ligne 61 - colonne 3, ligne 68 figure 1	1-31
A	US 4 193 502 A (MARMO ANTHONY R) 18 mars 1980 (1980-03-18) colonne 2, ligne 29 - ligne 40 colonne 2, ligne 58 - colonne 3, ligne 48 figures 1,2	1-31

☒ Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents

☒ Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

° Catégories spéciales de documents cités:

- \*A\* document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent
- \*E\* document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date
- \*L\* document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)
- \*O\* document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens
- \*P\* document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée

- \*T\* document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention
- \*X\* document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément
- \*Y\* document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier
- \*Z\* document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée

23 août 2005

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

31/08/2005

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale

Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Fonctionnaire autorisé

Timonen, T

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Di le Internationale No  
PCT/FR2005/000838

## C.(suite) DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie °	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	US 6 151 379 A (KULLENBERG RAGNAR ET AL) 21 novembre 2000 (2000-11-21) colonne 2, ligne 16 - colonne 3, ligne 11 colonne 4, ligne 17 - ligne 56 figures 1,2	1-31
A	FWA T F ET AL: "EXPERIMENTAL EVALUATION OF A LABORATORY TWIN-PROBE NUCLEAR GAGE FOR SPECIMEN DENSITY MEASUREMENT" JOURNAL OF TESTING AND EVALUATION, AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. PHILADELPHIA, US, vol. 20, no. 1, janvier 1992 (1992-01), pages 59-65, XP000310735 ISSN: 0090-3973 le document en entier	1-31
A	FR 2 798 463 A (FRANCO BELGE COMBUSTIBLES) 16 mars 2001 (2001-03-16) le document en entier	1-31

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

De l'Organisation Internationale No

PCT/FR2005/000838

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
DE 19710835	A	17-09-1998	DE 19710835 A1	17-09-1998
US 4193502	A	18-03-1980	BE 866563 A1	30-10-1978
			CA 1089644 A1	18-11-1980
			DE 2816141 A1	02-11-1978
			ES 469006 A1	16-05-1979
			FR 2389096 A1	24-11-1978
			GB 1569739 A	18-06-1980
			IT 1095335 B	10-08-1985
			JP 53140062 A	06-12-1978
			JP 60102658 U	12-07-1985
US 6151379	A	21-11-2000	SE 508184 C2	07-09-1998
			AU 711955 B2	28-10-1999
			AU 2186397 A	10-10-1997
			BR 9708225 A	27-07-1999
			CA 2250267 A1	25-09-1997
			EP 0958492 A1	24-11-1999
			JP 2000509141 T	18-07-2000
			NO 984362 A	19-11-1998
			NZ 331948 A	28-01-2000
			RU 2182703 C2	20-05-2002
			SE 9601083 A	22-09-1997
			WO 9735175 A1	25-09-1997
FR 2798463	A	16-03-2001	FR 2798463 A1	16-03-2001

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**